



Universidade do Minho

Departamento de Engenharia Civil

Filipa Clara Ferreira Ataíde

**ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO
PARA PAREDES DE TABIQUE**

Tese de Mestrado

Ciclo de Estudos Integrados em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação

Professora Doutora Rute Eires

Professor Doutor Aires Camões

Janeiro de 2017

Aos meus PAIS

AGRADECIMENTOS

Com a presente dissertação, gostaria de agradecer a todos aqueles que de forma direta ou indireta, contribuíram para a sua realização, principalmente:

- Em primeiro lugar, à minha orientadora Professora Doutora Rute Eires e ao meu coorientador Professor Doutor Aires Camões pela disponibilidade e conhecimentos transmitidos.
- Ao engenheiro Carlos Jesus, pelo constante apoio ao longo de toda a campanha experimental, pelas opiniões, pela constante partilha de sabedoria, que sem dúvida enriqueceram o conteúdo desta dissertação e acima de tudo pela paciência.
- Aos meus pais, a quem dedico esta dissertação, pelo constante apoio, confiança, incentivo.
- Aos meus amigos e colegas de universidade Humberto e Sérgio pelo constante apoio, paciência, amizade e companheirismo, imprescindíveis nestes anos. Também agradeço ao Eduardo e Joana que principalmente nestes últimos anos, também tiveram presentes nesta caminhada.
- Pela amizade e companheirismo fora da universidade agradeço aos meus amigos Alexandrina, Inês, Rita, Rui e Nuno. Que mostraram compreensivos com as minhas ausências.
- Por fim a todas as pessoas que conheci no laboratório de Engenharia civil da Universidade do Minho, em especial ao João, aos técnicos que ajudaram-me na presente dissertação, Sr. Pooke e Sr. Gonçalves. Lugar onde passei tantos momentos de stress como de alegria.

ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO PARA PAREDES DE TABIQUE

RESUMO

O tabique é uma técnica que usa materiais amigos do ambiente, com reduzido consumo de CO₂, pode ser considerado um bom exemplo de construção sustentável. Este é composto por uma estrutura de madeira revestida por um material de enchimento à base de terra. A manutenção e reabilitação deste tipo de construções antigas são um grande contributo para a valorização do património construído.

O presente estudo é motivado pela falta de informação sobre o comportamento das paredes de tabique com argamassas à base de terra. Com a falta desta informação, a grande maioria das intervenções de reabilitação resulta na demolição e substituição destas paredes por materiais mais correntes nos dias de hoje. Deste modo, julga-se necessário desmitificar o uso do tabique tradicional e contribuir para que a sua reabilitação passe a ser prática corrente.

O principal objetivo deste trabalho consiste, por isso, em estudar as argamassas de revestimento/preenchimento à base de saibro e cal para paredes em tabique, caracterizando-as de modo a promover a sua reabilitação com qualidade. Neste contexto, realizaram-se ensaios de resistência mecânica e ensaios de absorção de água por capilaridade e por imersão e, numa última fase, foram construídos painéis para estudar a melhor mistura, com ensaios de adesão, erosão e absorção de água com tubos de Karsten. Para a realização das diferentes misturas foram usados materiais como: saibro, proveniente de Guimarães; cal viva; cal hidratada e cal hidráulica natural; e óleo vegetal usado, cedido pela cantina da Universidade.

Por fim, há que reforçar que os estudos e referências bibliográficas referentes ao tabique são escassos e a sua regulamentação e normas inexistentes. Como tal, esta dissertação é motivada para contrariar esta tendência e incentivar a sua implementação não só para a reabilitação, mas também em novas construções.

PALAVRAS-CHAVE: Tabique, argamassas de cal e terra, construção em terra, reabilitação.

MORTAR COATING FOR WATTLE AND DAUB WALLS

ABSTRACT

The wattle and daub is a technique that uses environmentally friendly materials with low CO₂ and consumption and can be considered a good example of sustainable construction. This is composed of a wooden structure coated by a earth-based filler. The maintenance and rehabilitation of this type of old constructions are a great contribution to the valorization of the built heritage.

The present study is motivated by the lack of information about the behavior of wattle and daub walls with earth-based mortars. With the lack of this information, most or practically all rehabilitation interventions result in the demolition and replacement of these walls by more current materials today. In this way, it is considered necessary to demystify the use of the traditional partition wall and to contribute to its rehabilitation becoming current practice.

The main objective of this work is, therefore, to study the coating / filling mortar based on earth and lime for partition walls, characterizing them in order to promote their rehabilitation with quality. In this context, mechanical strength tests and water absorption tests were carried out by capillarity and by immersion, and in the last phase panels were constructed to study the best mixture with adhesion, erosion and water absorption with Karsten tubes tests. For the realization of the different mixtures were used materials such as: clay, from Guimarães; quicklime; hydrated lime; natural hydraulic lime; and used vegetable oil, provided by the university canteen.

Finally, it should be emphasized that studies and bibliographies concerning the partition are scarce, and their regulations and norms are non-existent. As such this dissertation is motivated to counteract this trend and find a response to the incentive not only for rehabilitation but also for new constructions.

KEYWORDS:

Wattle and daub lime and earth mortars, construction on land, rehabilitation

ÍNDICE

1. ENQUADRAMENTO	1
1.1. Introdução	1
1.2. Objetivos.....	1
1.3. Metodologia.....	2
1.4. Estrutura da Dissertação	3
2. CONSTRUÇÃO EM TABIQUE.....	5
2.1. Introdução	5
2.2. Definição de tabique	5
2.2.1. Elementos construtivos em tabique	7
2.3. Enquadramento histórico	8
2.4. Distribuição geográfica das principais técnicas construtivas em terra em Portugal	8
2.5. Função das paredes de tabique	9
2.6. Tipos de paredes de tabique.....	9
2.7. Materiais utilizados.....	11
2.7.1. Madeira.....	11
2.7.1. Pregos	11
2.7.1. Enchimento e revestimento	12
3. ARGAMASSAS	13
3.1. História das argamassas.....	13
3.2. Definição de argamassas	14
3.2.1. Definição de cal	14
3.2.1. Agregados.....	17
3.2.1. Água	18
3.2.1. Adições para argamassas	19
3.3. Composição das argamassas: traço.....	20
3.4. Argamassas de terra e cal	20
3.5. Argamassas de substituição	21
3.6. Requisitos e valores de referência a ter em conta para argamassas de tabique	22
4. TRABALHO EXPERIMENTAL.....	25

4.1. Propriedades do solo	25
4.1.1. Densidade das partículas	25
4.1.2. Sedimentação	26
4.1.3. Análise granulométrica	27
4.1.4. Equivalente da areia	28
4.1.5. Azul metileno	30
4.1.6. Propriedades químicas	31
4.1.7. Conclusão	33
4.2. Propriedades da Cal	33
4.2.1. Propriedades químicas	33
4.2.2. Massa volúmica específica – Ensaio de Blaine	34
4.3. Hidratação da cal viva	35
4.4. Adições utilizadas	36
4.5. Composições de argamassas e preparação de amostras	36
4.5.1. Composição das amassaduras para os provetes	36
4.5.2. Composição das amassaduras para o tabique	38
4.5.3. Ensaios às argamassas no estado fresco – consistência por espalhamento das argamassas	39
4.5.4. Preparação e cura dos provetes	40
4.5.5. Preparação e cura dos painéis de tabique e blocos	42
4.6. Ensaios das argamassas no estado endurecido	43
4.6.1. Flexão	43
4.6.2. Compressão	43
4.6.3. Absorção de água por capilaridade	44
4.6.4. Absorção de água por imersão	45
4.6.5. Ultrassons	46
4.6.6. Permeabilidade ao vapor de água	47
4.7. Ensaios em painéis de tabique	49
4.7.1. Erosão acelerada por jato de água para simulação de chuva	49
4.7.2. Ensaio de absorção de água com tubo de Karsten	51
4.7.3. Ensaio de aderência ao suporte	52
5. RESULTADOS OBTIDOS	55

5.1. Ensaio às argamassas no estado fresco - Trabalhabilidade das argamassas	55
5.2. Ensaio das argamassas no estado endurecido	57
5.2.1. Flexão	57
5.2.2. Compressão	59
5.2.3. Absorção de água por capilaridade.....	62
5.2.4. Absorção de água por imersão	63
5.2.5. Ultrassons	64
5.2.6. Permeabilidade ao vapor de água	66
5.3. Ensaio a painéis de tabique.....	67
5.3.1. Erosão acelerada por jato de água para simulação de chuva.....	67
5.3.2. Ensaio de absorção de água com tubo de Karsten.....	69
5.3.3. Ensaio de aderência ao suporte.....	75
5.4. Fissuração	77
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	79
6.1. Ensaio das argamassas no estado endurecido	79
6.2. Ensaio nos blocos e painéis de tabique	81
7. CONCLUSÕES.....	83
7.1. Trabalhos futuros	83
8. Referências Bibliográficas	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo da estrutura de madeira do tabique	5
Figura 2 - Parede divisória de tabique de um edifício de habitação unifamiliar (Cepeda, 2009)	6
Figura 3 – Habitação com parede exterior do 1º piso em tabique (Martinho, 2010).....	7
Figura 4 – Exemplos de elementos construtivos em tabique: a) teto. b) Chaminé, c) Parede exterior e por fim d) parede divisória interior (Cepeda, 2009; Domingues, 2014).....	7
Figura 5 - Taipa, Adobe e Tabique em Portugal, Jorge et al., 2005 in Cardoso (2013)	9
Figura 6 – Paredes em tabique: a) Tábuas na vertical; b) Tábuas na diagonal (Pires, 2013) ..	10
Figura 7 – Desenho de paredes em tabique: a) Parede simples; b) Parede dupla	10
Figura 8 – Esquema do sistema construtivo ‘Cruz de Santo André’ (Olender, 2006).....	11
Figura 9 – Pormenor das ripas horizontais do tabique (Martinho, 2010)	11
Figura 10 - Exemplos de construções de tabique que apresentam diferentes tipos de revestimento exterior (Cepeda, 2009).....	12
Figura 11 – Tipos de cal na construção.....	15
Figura 12- Picnómetro (Silva, 2016).....	25
Figura 13 – Sedimentação simples com os respetivos valores em cm.....	27
Figura 14 – Separação dos grãos (Santos, 2013)	27
Figura 15 – Ensaio de peneiração	28
Figura 16 – Curva granulométrica do solo selecionado para este estudo	28
Figura 17- Equipamento equivalente areia	29
Figura 18- Ensaio de equivalente de areia	30

Figura 19 - Ensaio no papel filtro no solo e estudo	31
Figura 20 – Elementos químicos no solo em estudo em percentagem	32
Figura 21 - Elementos químicos em cada tipo de cal estudada em percentagem.....	34
Figura 22 – Balão de Le Chatelier	35
Figura 23 – Representação da obtenção do peso da água para a hidratação da cal.....	36
Figura 24 – a) Fibra de Sisal; b) Fibra de cânhamo; e c) Rede de polipropileno	39
Figura 25 – Equipamento para a realização do ensaio de espalhamento.....	39
Figura 26 – Ensaio de espalhamento	40
Figura 27 – Equipamento para obter o volume de vazios das argamassas no estado fresco....	40
Figura 28 – Provetes para ensaios no estado endurecido	41
Figura 29 – Produção dos painéis de tabique (50x30 cm).....	42
Figura 30 – Moldes dos blocos para o ensaio de erosão (20x20x2 cm).....	42
Figura 31 – Ensaio de tração por flexão	43
Figura 32 – Ensaio de compressão, pela prensa Lloyd com o dispositivo de compressão	44
Figura 33 – Ensaio de absorção de água por capilaridade.....	45
Figura 34 – Exemplo dos graficos obtidos no ensaio de absorção por capilaridade.....	45
Figura 35 – Método de medição do tempo de propagação das ondas ultrassónicas: a) método direto; b) método indireto (adaptado de CEN, 2004)	46
Figura 36 – Esquema da cápsula de teste (Eires, 2012)	47
Figura 37 – Fluxo de vapor de água (esq.) cal viva sem óleo, (dir.) cal viva com.....	49
Figura 38 - Tanque do Simulador de Chuva (Rezende, 2015)	50
Figura 39 - Tanque do Simulador de Chuva	51

Figura 40 – Painéis para simulação de uma parede de tabique.....	51
Figura 41 – Cachimbo para o ensaio de Karsten	52
Figura 42 – Aplicação do tubo de karsten, (Pereira, 2011).....	52
Figura 43 – Equipamento para o ensaio de adesão (arrancamento).....	53
Figura 44 – a) Rotura adesiva tipo ‘a’; b) Rotura coesiva tipo ‘b’; c) Rotura coesiva tipo ‘c’; (EN 1015 - 12, 2000)	53
Figura 50 – Cal hidratada sem óleo	55
Figura 51 – Cal hidratada com óleo	55
Figura 47 – Cal viva sem óleo	55
Figura 48 – Cal viva com óleo	55
Figura 49 – Cal NHL 5 sem óleo	56
Figura 50 – Cal NHL 5 com óleo.....	56
Figura 51 – Tensão de flexão (MPa) aos 14 dias	58
Figura 52 - Tensão de flexão (MPa) aos 28 dias.....	58
Figura 53 - Tensão de flexão (MPa) aos 90 dias.....	59
Figura 54 – Resumo das tensões de flexão aos 14, 28 e 90 dias.....	59
Figura 55 – Tensão de compressão (MPa) aos 14 dias	60
Figura 56 – Tensão de compressão (MPa) aos 28 dias	61
Figura 57 – Tensão de compressão (MPa) aos 90 dias	61
Figura 58 – Resumo das tensões de compressão aos 14, 28 e 90 dias.....	62
Figura 59 – Coeficiente de Capilaridade ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$) aos 28 dias	62
Figura 60 – Coeficiente de Capilaridade ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$) aos 90 dias	63

Figura 61 – Absorção por imersão aos 28 dias.....	63
Figura 62 – Absorção por imersão aos 90 dias.....	64
Figura 63 – Medições ultrassons no método direto.....	65
Figura 64 – Medições ultrassons no método indireto.....	65
Figura 65. – Permeabilidade ao vapor de água.....	66
Figura 66 – Bloco para o ensaio de erosão – Composição: sem óleo	68
Figura 67 – Bloco para o ensaio de erosão – Composição: com óleo	68
Figura 68 – Bloco para o ensaio de erosão – Composição: com sisal.....	68
Figura 69 – Bloco para o ensaio de erosão – Composição: sisal + cânhamo	69
Figura 70 – Bloco para o ensaio de erosão – Composição: Rede de polipropileno	69
Figura 71 – Composição: sem óleo	70
Figura 72 – Composição: com óleo.....	70
Figura 73 – Composição: sisal	71
Figura 74 – Composição: sisal + cânhamo.....	71
Figura 75 – Composição: com rede de polipropileno	72
Figura 76 – Gráfico dos Resultados obtidos.....	73
Figura 83 – Fim do ensaio de Karsten na composição sisal + cânhamo entre o ripado	73
Figura 84- Problemas com a introdução da rede de polipropileno.....	74
Figura 85 – Fissuras no painel de tabique com rede de polipropileno	74
Figura 80 – Composição: sem óleo	75
Figura 81 – Composição: com óleo.....	76

Figura 82 – Composição: sisal	76
Figura 83 – Composição: sisal + cânhamo	76
Figura 84 – Gráfico dos Resultados obtidos	77
Figura 85 – Fissurações nos painéis.....	78

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das propriedades das argamassas endurecidas (NP EN 998-1, 2010)	22
Tabela 2 – Classificação de resistência de rebocos de terra (com base na DIN 18947 Santos, 2014).....	22
Tabela 3 – Requisitos estabelecidos para as características mecânicas e comportamento à água (Veiga, 2003).....	23
Tabela 4 – Ensaio de resistência e de durabilidade.....	23
Tabela 5 – Densidade das partículas	26
Tabela 6 – Equivalente de areia (Poerschke, 2016).....	29
Tabela 7 – Resultados obtidos do Equivalente de areia	30
Tabela 8- Elementos químicos do solo em percentagem	32
Tabela 9 - Elementos químicos de cada cal em percentagem	34
Tabela 10 – Massa específica de cada cal estudada	35
Tabela 11 – Composições das argamassas para ensaios no estado endurecido.....	37
Tabela 12 – Composições das argamassas para tabique.....	38
Tabela 13 - Pressão parcial do vapor em função da temperatura (Eires, 2012)	48
Tabela 14 – Resumo da razão A/L para produzir as argamassas	56
Tabela 15 – Resultados obtidos do volume de vazios das argamassas no estado fresco	57
Tabela 16 – Resultados obtidos do ensaio de Flexão	57
Tabela 17 – Resultados obtidos do ensaio de compressão	60
Tabela 18 – Absorção por imersão (%)	64

Tabela 19 – Resultados obtidos	66
Tabela 20 - Coeficientes de permeabilidade ao vapor de água.....	66
Tabela 21 - Resultado das pesagens durante os ciclos.....	67
Tabela 22 – Resultados obtidos no Ensaio de Karsten ao fim de 180 minutos	72

ÍNDICE DE SÍMBOLOS

A/L	Água/Ligante
R_c	Resistência à compressão
R_t	Resistência à flexão por tração
C	Coefficiente de absorção por capilaridade
EA	Equivalente de areia
MB	Grau de limpeza
Φ	Massa volúmica específica
E	Espalhamento
Π	Permeabilidade ao vapor de água
f_u	Tensão de adesão
Sd	Espessura da camada de ar de difusão equivalente
μ	Resistência ao vapor de água
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil

1. ENQUADRAMENTO

1.1. Introdução

A nova realidade da construção cada vez mais se centra na crescente necessidade de reabilitar devido ao excesso de construção e ao abandono dos centros urbanos, onde era prática corrente até início do século XX o recurso ao tabique como técnica construtiva, mais em paredes divisórias. Uma técnica que nos últimos anos caiu em desuso devido ao facto da utilização em larga escala de materiais como o betão ou alvenaria de tijolo. O tabique, também conhecido por “taipa de fasquio”, “taipa de rodízio”, “taipa de sopapo”, “taipa de chapada”, “pau a pique”, ou “barro armado” no Brasil, define-se como uma técnica tradicional construtiva que emprega como material, a terra, a madeira ou a cana.

Esta técnica é considerada por alguns como o primeiro material compósito, por usar a madeira como uma estrutura resistente e a terra como material de enchimento (ou seja secundário) (a) Cardoso, 2013). Para aumentar a durabilidade e resistência, em algumas bibliografias é referido que adicionavam nas misturas das argamassas óleos vegetais, óleos de baleia ou até mesmo espigas de milho como aditivos e reforços (b) Cardoso, 2013).

O presente estudo é motivado pela falta de informação sobre o comportamento das paredes de tabique com argamassas à base de terra. Com a falta desta informação, a grande maioria das intervenções de reabilitação resulta na demolição e substituição destas paredes por materiais mais correntes nos dias de hoje. Deste modo, julga-se necessário desmitificar o uso do tabique tradicional e contribuir para que a sua reabilitação passe a ser prática corrente. Há ainda que reforçar, que os estudos e referências bibliográficas referentes ao tabique são escassos e a sua regulamentação e normas inexistentes.

1.2. Objetivos

No presente estudo, pretende-se aprofundar o conhecimento das paredes em tabique, incidindo o estudo no material de enchimento, uma argamassa de reboco. Além disso, tenciona-se criar mais argumentos para incentivar a preservação destas estruturas e retirar a ideia errada imposta na sociedade atual, que construções muito antigas devem ser demolidas e substituídas por construção de tecnologia mais avançada. E até incentivar a utilização deste tipo de construção como uma alternativa sustentável para novos edifícios.

O principal objetivo deste trabalho consiste, em estudar as argamassas de revestimento/preenchimento à base de saibro e cal para paredes em tabique, caracterizando-as de modo a promover a sua reabilitação com qualidade. Para tal, serão estudadas diferentes composições de argamassas para enchimento e revestimento através de ensaios de resistência mecânica e durabilidade. Tendo em conta as principais formas de degradação deste tipo de solução: a fissuração e humidade. Espera-se também que as argamassas obtidas tenham uma boa resistência à ação da água, mantendo uma boa permeabilidade ao vapor de água.

Com a realização da dissertação é, também, esperado que haja um aprofundamento e propagação do conhecimento acerca do tema proposto e que se produza informação que seja aplicável em casos reais, para que seja assim preservada uma solução construtiva tão tradicional como é o tabique. Tendo esta, várias vantagens, como os custos e a sustentabilidade desta solução, pois a terra existe e é um material bastante disponível devido à sua abundância e tanto a sua construção como o seu desmonte, não provocam grandes emissões de CO₂. O que é uma vantagem bem alta dado que nos tempos que correm, o ser humano tem de ter cada mais consciência do meio ambiente e os efeitos que a construção provoca no mesmo.

1.3. Metodologia

Para a realização do estudo das argamassas nas paredes de tabique será ter a seguinte metodologia a seguir descrita.

Numa primeira fase, foi realizado um estudo geral sobre o tema, que consistiu em analisar como era feita a construção em tabique, como eram constituídas as suas argamassas, e quais os materiais mais usados (estrutura da madeira, solo, cal, aditivos). Também houve a preocupação de compilar e perceber quais os estudos feitos recentemente. Todo este estudo incidiu sobre teses, dissertações, artigos, e livros.

Foi realizada numa primeira fase experimental a caracterização dos materiais usados. No solo que foi usado para a realização das argamassas foram realizados ensaios para a caracterização completa deste e para determinar o tipo de solo. As cais que foram usadas também foram ensaiadas para obter a sua massa volúmica para posteriormente ajudar a transformar o traço usado em volume (1:3) para massa.

Para a fase seguinte foi desenvolvido o trabalho experimental que foi o propósito deste tema, primeiro a produção das argamassas e consequentemente a realização dos seus ensaios de

compressão, flexão, ultrassons, absorção de água por capilaridade e imersão através de provetes normalizados. Posteriormente, com a melhor mistura dos ensaios descritos, sucedeu numa fase final a uma parte experimental com painéis de madeira de forma igual à estrutura usada em paredes de tabique, onde foram realizados os ensaios de arrancamento e absorção de água com tubo de Karsten. Foi ainda realizado um ensaio de erosão acelerada por jacto de água de simulação de chuva em blocos preparados para o efeito.

Por fim, foram analisados os resultados obtidos de cada ensaio e interligados entre eles e também com a bibliografia encontrada sobre o assunto em questão.

1.4. Estrutura da Dissertação

Esta Dissertação de Mestrado está estruturada em sete capítulos. Um capítulo introdutório em que se apresenta o tema e se justifica a motivação para a sua escolha, indicando os objetivos que se pretendem atingir e a metodologia adotada para tal. Em seguida, apresenta-se o conteúdo de cada capítulo de forma sucinta.

No capítulo 2 é realizada uma pesquisa bibliográfica de forma a ter um conhecimento suficiente referente à construção em tabique, faz-se um breve enquadramento histórico pelo mundo e em Portugal e procede-se às principais características do tabique tendo em conta os materiais utilizados na sua construção e a sua função.

Conclui-se o estado do conhecimento com o capítulo 3, que descreve as argamassas de enchimento, definindo cada constituinte usado no estudo, como a cal, os aditivos e o seu reforço.

No capítulo 4 faz-se a descrição pormenorizada das características dos materiais usados no estudo experimental. São descritos os ensaios feitos ao solo usado para a realização das argamassas que foram estudadas para material de enchimento do tabique. Foram feitos ensaios de caracterização para determinar o tipo de solo que seria usado (arenoso ou argiloso). Para as cais usadas foram feitas análises químicas e foi determinada a sua massa volúmica.

Assim, no capítulo 5 apresentam-se e analisam-se os resultados dos ensaios realizados com as diferentes composições de argamassas estudadas tanto em forma de provetes, como nos blocos para o ensaio de erosão e nos ensaios dos painéis de tabique.

Por fim, os capítulos 6 e 7 são dedicados à interpretação dos resultados obtidos com base na bibliografia estudada e conclusões finais.

2. CONSTRUÇÃO EM TABIQUE

2.1. Introdução

O adobe, a taipa e o tabique são as técnicas construtivas tradicionais portuguesas que mais usam a terra como material de construção. O tabique diferencia-se do adobe e da taipa dado que recorre a uma estrutura de madeira.

O norte de Portugal é rico em património construído de tabique, com mais incidência na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, encontrando-se praticamente em todos os centros históricos urbanos e zonas rurais. Em todo o país, à semelhança do que acontece na Europa, verifica-se a existência de edifícios antigos ao abandono, principalmente em centros históricos e urbanos. Em virtude da sua importância patrimonial, cultural e arquitetónica surge a necessidade de requalificação dos mesmos. A importância da reabilitação de edifícios antigos requer, por isso, o desenvolvimento de soluções de intervenção (Cepeda, 2009).

2.2. Definição de tabique

O tabique define-se como uma técnica tradicional construtiva que emprega como material, a terra e a madeira ou a cana. Existem várias técnicas para executar o tabique, mas no geral é formado por uma estrutura de madeira à qual é afixado um ripado de madeira que é preenchido e revestido com argamassa à base de solo e cal. A estrutura de madeira mais utilizada em Portugal é composta por tábuas de madeira na vertical ou com dois panos de tábuas, umas na vertical e outras na diagonal, Figura 1.

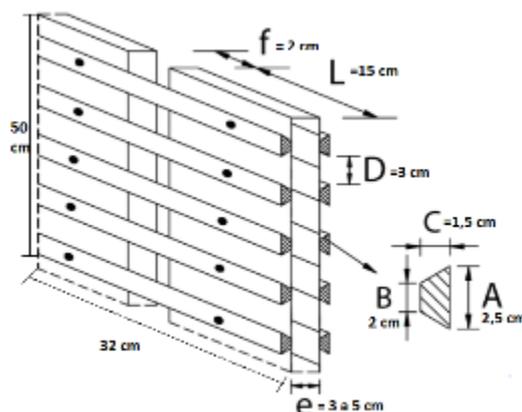


Figura 1 - Exemplo da estrutura de madeira do tabique

As ligações entre os elementos de madeira (ligação dos elementos verticais com o fasquio) são geralmente feitas através de pregos. As paredes são preenchidas por um solo argiloso ou siltoso, em alguns casos são adicionadas fibras vegetais e cal, sobretudo no acabamento final (Pinto, 2013). Na Figura 2 apresenta-se uma parede divisória em tabique.



Figura 2 - Parede divisória de tabique de um edifício de habitação unifamiliar (Cepeda, 2009)

Esta técnica não tem uma execução com princípios definidos, o património existente apresenta uma grande variedade tanto na de disposição construtiva dos elementos estruturais (madeira), como no material de enchimento e revestimento. Isto pode suceder devido ao fato da disponibilidade de matéria-prima e condições climáticas onde estão inseridas as construções (Cardoso, 2013).

Alguns estudos mencionam que os edifícios com paredes de tabique na Região nordeste de Portugal possuem dois pisos, em que o piso térreo em geral é alvenaria de pedra, normalmente era destinado a arrumo de alfaías agrícolas ou resguardo de animais, e o piso superior destinado a habitação com as paredes de tabique. No entanto, existem situações em que as paredes exteriores são todas em alvenaria de pedra e as paredes divisórias em tabique (Martinho, 2010; Pinto, 2013).



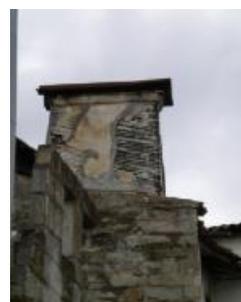
Figura 3 – Habitação com parede exterior do 1º piso em tabique (Martinho, 2010)

2.2.1. Elementos construtivos em tabique

Durante a pesquisa bibliográfica foram encontrados vários tipos de elementos construtivos em tabique como mostra a Figura 4.



a)



b)



c)



d)

Figura 4 – Exemplos de elementos construtivos em tabique: a) teto. b) Chaminé, c) Parede exterior d) parede divisória interior (Cepeda, 2009; Domingues, 2014)

2.3. Enquadramento histórico

Segundo Cardoso (2013), esta técnica é utilizada desde o período neolítico e poderá ser mais antiga do que o adobe ou a taipa.

Esta era uma técnica muito utilizada em todo mundo, em que, ao longo dos anos, foram aperfeiçoando a sua fórmula, usando variados materiais, mas que nos dias de hoje caiu drasticamente em desuso.

Também segundo Correia, citado na dissertação de Domingues (2014), a construção em terra está visível em quase todos os continentes e ainda refere que é visível a diversidade cultural dos povos e demonstra a sua versatilidade em termos de aplicação.

Na Europa, o tabique teve o seu auge na idade média, mas a partir do século XVII a sua construção foi reduzida (Cepeda, 2009). Em Portugal, a prática da técnica de tabique ocorreu, maioritariamente, entre o século XVII e o século XIX.

A partir do século XX, altura da generalização do uso do betão, esta técnica construtiva deixou de ser utilizada. Nos dias de hoje este tipo de construção em terra é menos utilizada comparativamente ao adobe e à taipa. Um dos motivos pelo qual esta técnica caiu em desuso poderá ter sido pela falta de normas e regulamentos que permitissem orientar e regular a sua construção (Carvalho, 2009).

2.4. Distribuição geográfica das principais técnicas construtivas em terra em Portugal

Em Portugal encontram-se vestígios de construções, no Norte do país, em especial em Trás-os-Montes, Alto Douro, Beira Alta, Beira Baixa, Ribatejo e Alentejo (Figura 5). A construção Pombalina em Lisboa mostra-nos um bom exemplo de uma derivação do tabique. Este tipo de construção pode estar mais presente no interior do país, por serem zonas com menos humidade, ou seja com condições ambientais mais favoráveis.

Nas regiões de Trás-os-Montes, Alto Douro, Beira Alta e Beira Baixa é mais comum encontrar-se este sistema construtivo como paredes interiores e em paredes exteriores apenas nos pisos superiores (piso térreo em geral era alvenaria de pedra) (Pinto, 2013).

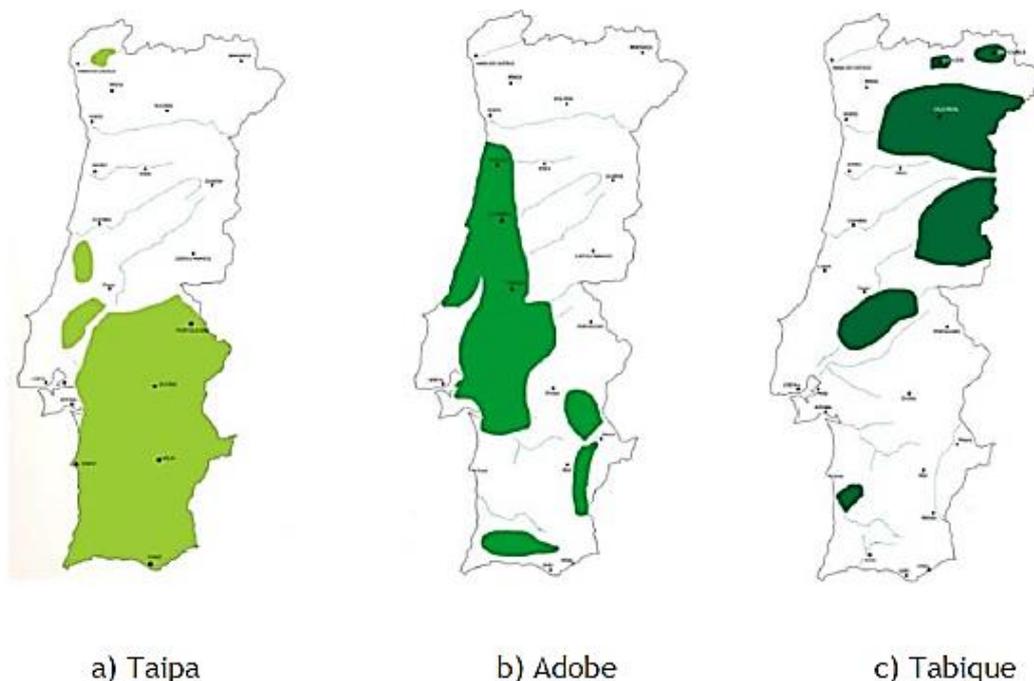


Figura 5 - Taipa, Adobe e Tabique em Portugal, Jorge et al., 2005 in Cardoso (2013)

2.5. Função das paredes de tabique

Este sistema construtivo divide-se em paredes interiores, exteriores e paredes de caixa de escadas.

A predominância do tabique encontra-se nas paredes divisórias interiores, sendo estas elementos construtivos não estruturais. Contudo, ajudam no travamento global do edifício pelo facto de se encontrarem ligadas aos elementos estruturais principais.

Relativamente às paredes exteriores, têm como função fechar o edifício e também têm função estrutural, estas suportam ações verticais transmitidas por outros elementos como a cobertura e ações horizontais (sismos e ventos) (Pires, 2013).

2.6. Tipos de paredes de tabique

A estrutura das paredes de tabique pode variar consoante o método construtivo adotado, ou seja, as paredes de tabique podem apresentar um tabuado duplo ou simples, disposto na diagonal ou na vertical (mais comum), como representado na Figura 6.



Figura 6 – Paredes em tabique: a) Tábuas na vertical; b) Tábuas na diagonal (Pires, 2013)

Em suma, uma parede de tabique simples é constituída por uma estrutura de madeira formada por tábuas verticais ligadas entre si por ripas de madeira na horizontal. Dentro desta técnica construtiva encontram-se variações no método construtivo do tabique, existindo uma disposição que apresenta um tabuado duplo: um primeiro pano normalmente com tábuas alinhadas na vertical e um segundo com tábuas dispostas na diagonal.

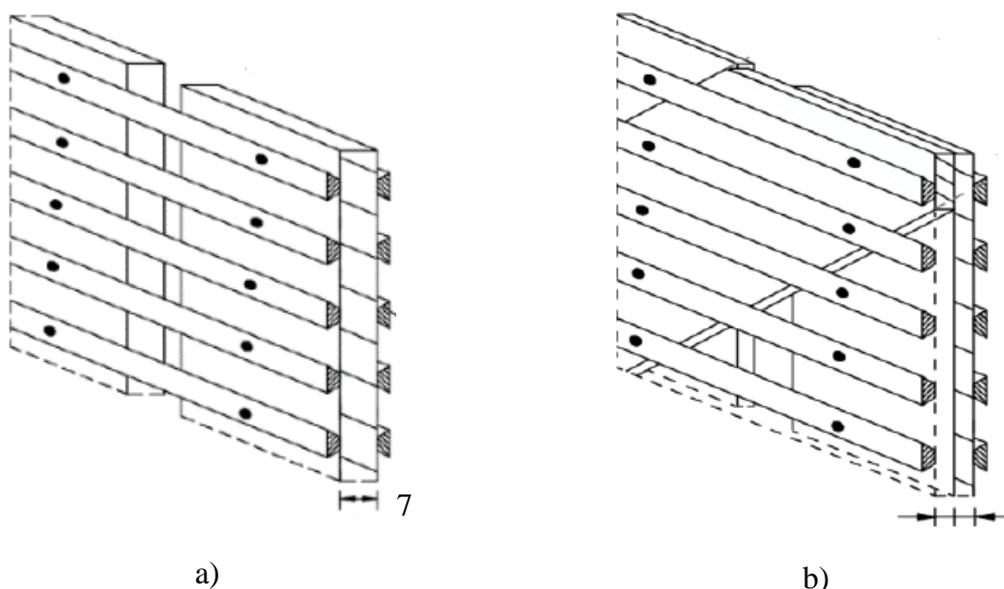


Figura 7 – Desenho de paredes em tabique: a) Parede simples; b) Parede dupla

Na zona de Lisboa existe ainda o sistema construtivo chamado cruz de Santo André, que é constituído por prumos, travessanhos, frechais e escoras, por norma preenchido com pedras miúdas tijolos ou outros materiais naturais.

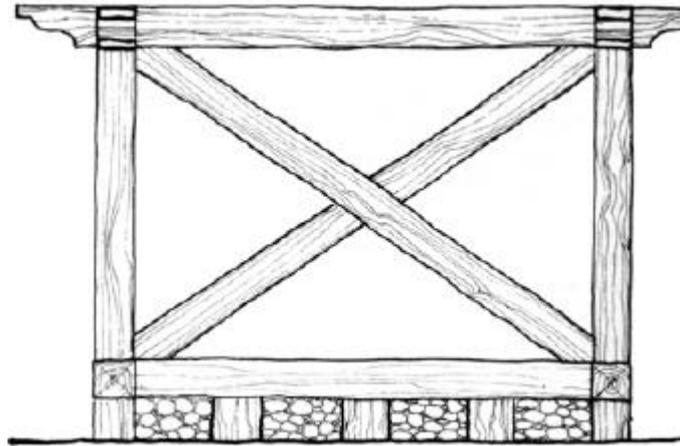


Figura 8 – Esquema do sistema construtivo ‘Cruz de Santo André’ (Olender, 2006)

2.7. Materiais utilizados

2.7.1. Madeira

Em Portugal é possível afirmar que a espécie de madeira mais utilizada é o pinho bravo. Noutros países como a Colômbia, as Filipinas, a Índia, a Indonésia e o Japão, a madeira é substituída pela utilização de bambu, a espécie dominante (Martinho, 2010).

Um aspeto a assinalar sobre o ripado horizontal (fasquio) é o fato da secção transversal não ser retangular, mas sim uma espécie de cunha, para que o material de enchimento tenha melhor aderência

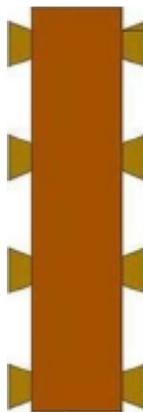


Figura 9 – Pormenor das ripas horizontais do tabique (Martinho, 2010)

2.7.1. Pregos

A união do fasquio às tábuas verticais era executada recorrendo a pregos zincados, prevenindo deste modo que a ferrugem trespasse para o exterior (Carvalho, 2009).

2.7.1. Enchimento e revestimento

O material de enchimento e revestimento, para além de conferir boas qualidades térmicas e acústicas, ainda permite salvaguardar a estrutura de madeira do ataque dos agentes biológicos e em relação ao fogo (Cardoso, 2013).

Para o material de enchimento, pelos estudos feitos por Cepeda (2009), o solo usado é maioritariamente argiloso.

Segundo Cepeda (2009), o tipo de revestimento exterior mais comum é o caiado, mas também são encontradas paredes com chapa de zinco, ardósia e telha cerâmica (Figura 10).



Figura 10 - Exemplos de construções de tabique que apresentam diferentes tipos de revestimento exterior (Cepeda, 2009)

3. ARGAMASSAS

3.1. História das argamassas

As argamassas são utilizadas há mais de 10.000 anos. Com a necessidade de se abrigar, o Homem Primitivo procurou um “material” que aglutinasse os restantes elementos disponíveis, como por exemplo pedras, para a elaboração de abrigos e que, assim, o protegesse de agentes climáticos.

Com a ajuda do fogo foi possível utilizar calcários e gessos e com o efeito do calor melhorar as suas características aglutinantes. Estes materiais em contacto com a água permitiram a produção de argamassas.

O primeiro ligante não hidráulico a surgir, foi a cal hidratada ou apagada sendo a calcário regada com água (apagando a cal) dando origem a um pó branco e fino (Leal, 2012; Santos, 2009).

Os Egípcios utilizavam este tipo de argamassas nas suas construções, mas foram os Gregos que as expandiram pela Europa. Porém, a expansão do uso deste tipo de aglutinante atingiu o seu auge no período romano. Foi com este tipo de tecnologia que construíram um Império tão vasto. Os Romanos necessitaram de descobrir e desenvolver técnicas de construção mais rápidas e eficazes, desenvolvendo assim os métodos de fabrico da cal. Estudaram, também, a composição das argamassas e a influência dos aditivos (as pozolanas eram as mais comuns) nas suas propriedades hidráulicas.

Após a Revolução Industrial foi introduzido o conceito de hidráulidade e com o crescente estudo nesta área, em 1824 surgiu o cimento artificial *Portland* criado por Joseph Aspdin. O Cimento *Portland* foi introduzido em Portugal no início do século XX e fez com que o uso da cal (principalmente da cal aérea) apresentasse um notório decréscimo (Gonçalves, 2010).

Nos dias de hoje para a aplicação da argamassa em obra é necessário o transporte e armazenamento das suas matérias-primas para proceder ao seu fabrico, no local onde serão aplicadas. As argamassas são produzidas no momento, por mão-de-obra encarregue de dosar e preparar a argamassa, mas sem garantias de semelhança e qualidade das argamassas produzidas, devido à difícil quantificação exata no local das matérias-primas introduzidas na mistura. A partir de 1950 desenvolveu-se a industrialização de argamassas de construção. Mas, apesar de estarem a cair em desuso, ainda se verifica a produção de argamassas *in situ*, sendo

este um dos principais aspetos responsáveis pelos problemas inerentes à qualidade das argamassas.

A industrialização das argamassas veio possibilitar a produção de argamassas pré-doseadas em fábrica, reduzindo a probabilidade de erros de doseamento e mistura dos componentes através de equipamentos perfeitamente controlados e modernos (Leal, 2012).

3.2. Definição de argamassas

Uma argamassa para revestimento é considerada a junção no mínimo de um ou mais ligantes (cal, cimento), agregados (areias ou solo) e água. Para um melhor desempenho podem-se adicionar aditivos ou adjuvantes.

Uma argamassa na construção tem várias aplicações, como o revestimento ou assentamento, e tendo em conta a sua função terá de cumprir requisitos mínimos de proteção acima de tudo, mas também estéticos. Deve-se ter em conta esse cuidado na sua produção tendo em conta as características, definindo valores mínimos de resistência e durabilidade (Leal, 2012).

O seu desempenho é influenciado pela sua micro estrutura, que depende do tipo de ligante, granulometria do agregado, condições de cura, procedimentos de aplicação e tipo de suporte. As argamassas para reabilitação de edifícios antigos mais adequadas são as de cal aérea e que as de cal hidráulica também podem ser uma boa opção para zonas mais húmidas (Veiga, 2003).

3.2.1. Definição de cal

Na construção existem vários tipos de cal, esta divide-se em dois tipos: cal aérea ou cal hidráulica. As cals aéreas são classificadas de acordo com o seu teor de óxido de cálcio e óxido de magnésio, enquanto as cals hidráulicas são classificadas pela sua resistência à compressão aos 28 dias.

A cal aérea pode ser calcítica ou dolomítica, e estas podem encontrar-se em dois tipos de estado: viva ou extinta/apagada (Hidratada). Este tipo de cal é formado por óxidos ou hidróxidos de cálcio e endurece com a presença de CO_2 . A cal Hidráulica divide-se em natural ou artificial, é formada por hidróxidos de cálcio, silicatos de cálcio e aluminatos de cálcio, possui a característica de endurecer debaixo de água, mas também tem a possibilidade de endurecer por carbonatação, por reação com o CO_2 . Estas cals aéreas e hidráulicas variam muito devido ao grau de pureza dos calcários de onde são extraídas, sendo a primeira obtida com mais pureza

do que a segunda e também tem diferentes percentagens de argila (Coelho, Pacheco, & Said, 2009).

A cal reage com CO_2 e forma o carbonato de cálcio e dá-se a união da areia ou solo presente na mistura. Havendo também a formação de silicatos de cálcio, devido à água que também ajuda na união dos agregados (www.lhoist.com, 2016).

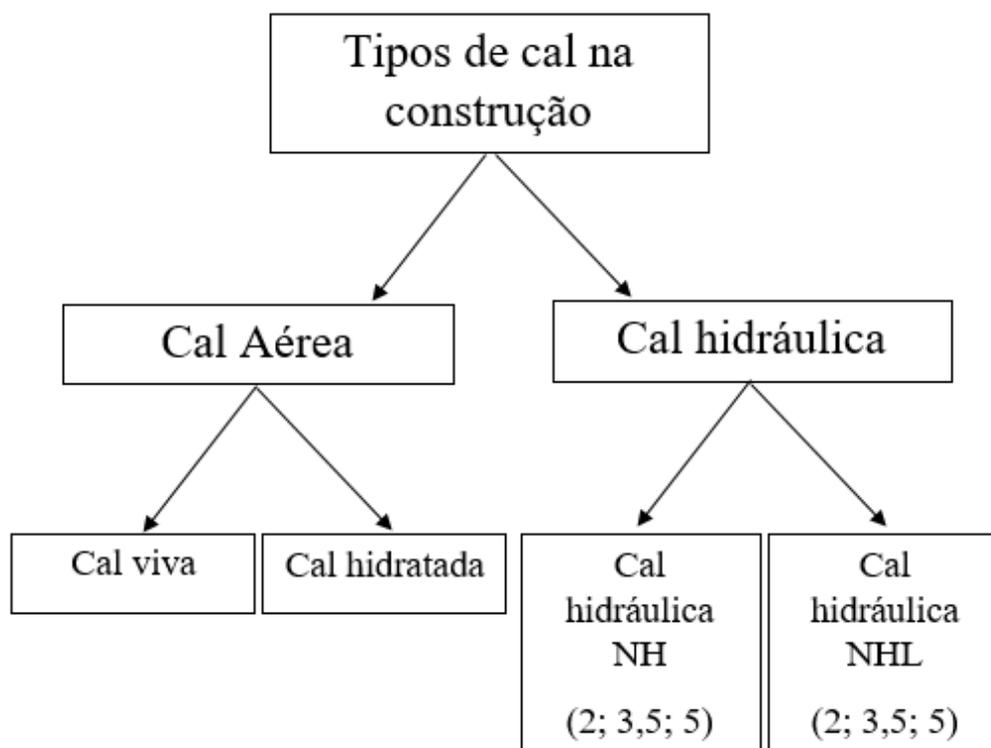


Figura 11 – Tipos de cal na construção

Cal Viva

O produto obtido pela cozedura dos calcários chama-se cal viva, que é praticamente composta por óxido de cálcio e que reage com a água libertando calor, dando portanto origem a uma reação exotérmica.

A cal viva apresenta-se sob a forma de grãos de grandes dimensões ou sob a forma de pó, tem cor branca e tem grande sensibilidade à água como já foi referido (Coutinho, 2002).

A cal viva é um produto muito instável e devido a esse fato necessita de ser hidratada. Este fenómeno designa-se por extinção da cal viva. Na extinção da cal processa-se uma

desagregação com efervescência e produção de calor, libertação de calor e aumento de volume (Rodrigues, 2004).



A extinção da cal pode fazer-se por dois processos: por imersão ou por aspersão. A imersão consiste em mergulhar as pedras de cal em água obtendo-se uma pasta e por aspersão é adicionada à cal apenas a água suficiente para a sua hidratação.

Portanto, a cal viva que é uma derivação da cal aérea é um ligante constituído sobretudo por óxido de cálcio que endurece lentamente ao ar por reação com o dióxido de carbono.

Antes do cimento ser introduzido, a cal era o ligante mais usado nas construções, por exemplo em paredes de tabique. Hoje em dia é utilizada para fabrico de blocos silico-calcarios, misturada com gesso para fabrico de estuques, misturada com cimento ou cal hidráulica para rebocos e ainda sob a forma de leitada na caiação de muros (Coutinho, 2002).

Cal Hidratada

Por sua vez, a cal hidratada é uma cal aérea que é constituída por hidróxido de cálcio e por vezes hidróxido de magnésio, que resulta da extinção controlada da cal viva, em termos de quantidade de água. Depois de misturada com água, já não ocorre nenhuma reação exotérmica.

Este tipo de cal tem a capacidade de aglomerar os grãos dos agregados das argamassas. Devido à sua leveza e finura de grãos e por consequência capacidade de proporcionar fluidez, coesão e retenção de água, a cal hidratada proporciona uma melhor trabalhabilidade e consequente produtividade.

A cal hidratada é utilizada no fabrico de argamassas de assentamento de alvenarias, mas necessita de um aditivo para não perder qualidade na presença de água (Coelho et al., 2009).

Cal hidráulica natural

A pedra calcária que possua de 8 a 20 % de argila, dá origem à cal hidráulica que é um produto que endurece tanto na água como no ar.

A cal hidráulica é constituída por silicatos e aluminatos de cálcio que hidratando endurecem na água ou no ar.

A massa volúmica deste tipo de cal é mais baixa do que a do cimento e a sua baridade toma valores entre 0,6 e 0,8 g/cm³, a sua cor é idêntica à do cimento mas a sua resistência é muito mais baixa do que o cimento.

Utiliza-se a cal hidráulica em argamassas de revestimento, para reboco de paredes para alvenaria. A utilidade deste tipo de cal é equivalente à do cimento, mas as suas aplicações não devem impor elevadas resistências mecânicas (Coutinho, 2002).

Segundo Santos & Veiga (2012), este tipo de argamassas podem ser também uma solução para obras de reabilitação de edifícios antigos localizados em zonas muito húmidas ou em contato direto com a água.

3.2.1. Agregados

Os agregados, em geral, são os elementos maioritários de uma argamassa, sendo utilizados com o objetivo de diminuir a retração e a quantidade de ligante, aumentar a compacidade e a resistência à compressão, melhorando a permeabilidade ao vapor de água e a resistência a ciclos gelo-degelo.

A contribuição dos agregados torna-se mais eficaz caso estes estejam isentos de sais ou matéria orgânica. A presença de argila também se torna prejudicial, pois o seu excesso contribui para uma maior retração (Leal, 2012).

Os principais fatores para a durabilidade e bom comportamento das argamassas de cal estão relacionados, com a boa qualidade da cal, dos agregados usados e da sua granulometria (Santos & Veiga, 2012).

Areia

O tipo de agregado mais utilizado para o fabrico de argamassas é geralmente a areia sendo que, segundo a norma NP EN 12620, os seus grãos devem ter dimensão compreendida entre 0,063 mm e 4 mm. A areia é um material granular obtido através da desagregação natural ou da britagem de rochas.

As areias grossas tendem a reduzir a tendência para a fendilhação, enquanto para a redução da porosidade e da absorção de água devem utilizar-se areias finas. Para argamassas com areias finas é necessária a utilização de uma maior quantidade de água, para a mesma trabalhabilidade; contudo,

como consequência, estas apresentam uma maior quantidade de fissuras por retração na fase de endurecimento. Argamassas mais grossas são mais resistentes a ciclos gelo-degelo (Martins, 2010).

Solo

Com a crescente consciência do impacto ambiental que a construção civil trás para o meio ambiente, a não produção de resíduos tão poluentes, o retorno do uso do solo será uma oportunidade para travar cada vez mais essa tendência.

A terra é um material que quando é utilizado como material de construção quase não requer gastos energéticos e a existência é abundante. Em geral, utiliza-se a terra existente no próprio local para a utilização na construção, não sendo necessário o transporte e conseqüente consumo energético para o mesmo. Em suma, em termos ambientais, o uso do solo apresenta um bom desempenho ambiental. Contudo, a construção em terra tem algumas limitações, como a sua vulnerabilidade à água e outra limitação poderá ser a falta de regulamentação relativa as técnicas construtivas que usam terra (Carvalho, 2009).

A argila presente nas argamassas de terra desempenha o papel de ligante ou aglutinante e pode ser responsável pela eventual retração de rebocos de argamassas de terra, enquanto a areia, geralmente existente, forma o esqueleto granular que constitui a estrutura mecânica do reboco. Uma boa argamassa de terra deve conter argila suficiente para ligar todo o esqueleto granular, permitir a plasticidade necessária para a sua aplicação e prevenir a sua erosão, mas não deve existir em grande quantidade de modo a ser possível limitar a retração (T. Santos, Faria, & Silva, 2014).

3.2.1. Água

A água é o componente elementar para promover as reações de hidratação, promovendo as propriedades aglutinantes do ligante.

A água utilizada para o fabrico das argamassas é sempre superior à necessária para a hidratação do ligante. Este fato é devido a necessidade de ter uma boa trabalhabilidade para a sua aplicação e esperar com a eventual sucção do suporte por evaporação. Porém, há que haver um cuidado para não introduzir água em excesso, pois reduz a resistência das argamassas. Mas a sua falta provoca o aparecimento de fendas e uma fraca aderência ao suporte.

A quantidade de água a ser utilizada numa amassadura é calculada através da relação Água/Ligante. O seu cálculo é fundamental, pois deriva desta relação a quantidade a ser usada para a boa trabalhabilidade, aderência ao suporte e facilidade de aplicação, o que tem como consequência o rendimento da mão-de-obra. Também a sua quantidade irá afetar a argamassa no estado endurecido, como na porosidade, absorção de água, retração e resistência mecânica (Leal, 2012).

3.2.1. Adições para argamassas

Para melhorar as propriedades da argamassa, para além da quantidade e qualidade dos componentes, também é frequente o uso de adições, por forma a tornar a argamassa mais eficiente. Com as adições há propriedades físicas, químicas e mecânicas que podem ser alteradas. Ao utilizar uma adição com determinada finalidade, têm que se ter em atenção todas as propriedades da argamassa, pois a adição poderá estar a melhorar certa propriedade da argamassa, mas piorar outra propriedade não menos importante. É fundamental um rigoroso controlo de todas as propriedades das argamassas, pois são estas que refletem a qualidade final da argamassa.

A utilização das fibras está sobretudo relacionada à possibilidade de redução do aparecimento de fissuração, permitindo distribuir as tensões de retração da argila por toda a argamassa e, também, melhorar os comportamentos térmico e acústico. No entanto, existem muitos tipos de fibras, com diferentes propriedades, o que pode afetar o modo como as argamassas se comportam com a água (Eires, 2014).

A adição de fibras vegetais antigamente era um dos métodos mais utilizados. A utilização de fibras como palha ou feno picado melhoravam as propriedades mecânicas, em especial a resistência à tração. Por outro lado, a palha pode apresentar a desvantagem de se degradar quando exposta por períodos prolongados a ambientes húmidos e de aumentar a suscetibilidade da argamassa à contaminação biológica.

As fibras parecem aumentar a quantidade de água necessária para conseguir uma boa trabalhabilidade. Por outro lado, as argamassas que contêm fibras apresentam uma menor massa volúmica devido ao facto de as fibras exibirem muito baixa baridade (Santos, 2014).

Para contrariar o comportamento à água das fibras, também podem ser adicionados aditivos como óleos, gorduras, resinas, etc, utilizados em pequenas percentagens, tendo como função

impermeabilizar e melhorar a durabilidade da mistura face à ação da água. Esta incorporação tem a desvantagem de poder diminuir as resistências mecânicas se não forem utilizadas as quantidades certas (Eires, 2012).

3.3. Composição das argamassas: traço

O traço de uma argamassa é a proporção dos componentes relativamente ao ligante. O comum é calcular o traço em volume aparente, que é o mais usado nas obras de construção civil. O traço de argamassa, “1 : x”, significa que para uma dada medida em volume do ligante (cal, cimento), adiciona-se “x” medidas de agregado (solo, areia).

Ao aumentar o traço da argamassa a sua resistência irá diminuir, seja qual for o ligante. Pois irá conter mais quantidade de agregado para a mesma quantidade de ligante (Botas, 2009). O objetivo é encontrar uma porção certa, em que a resistência seja adequada mas sem excesso de ligante.

A qualidade de uma argamassa não está apenas dependente do seu traço, mas também das características dos seus constituintes e da sua quantidade, tornando-se necessário um bom conhecimento acerca destes para que seja possível proporcionar premeditadamente características específicas à argamassa a produzir.

A qualidade de uma argamassa é importante para a durabilidade das construções, pois a argamassa de revestimento é o primeiro material da construção a ser atacado pelos agentes de deterioração externos a uma construção (Leal, 2012).

3.4. Argamassas de terra e cal

As argamassas de terra, para além de serem utilizadas para o enchimento do tabique, em tempos serviram também como assentamento de paredes de alvenaria de pedra. Devido há falta de informação sobre argamassas de terra e estas, em tempos antigos, terem sido muito utilizadas, hoje em dia para a reabilitação destes edifícios há um certo risco da incompatibilidade dos materiais e, como consequência, de graves problemas. Tanto argamassas de assentamento, como argamassas de revestimento eram constituídas basicamente por terra existente nas proximidades, água e, eventualmente, algumas adições, como fibras ou cal (P. A. Santos, 2014).

‘Não existe uma receita para estas argamassas, uma vez que dependem das características do solo, que varia muito de região para região. Uma das principais

vantagens dos rebocos realizados com argamassas de terra é a sua elevada higroscopicidade, que lhe permite absorver e libertar vapor de água, equilibrando a humidade relativa dos ambientes interiores.' (Dias, 2013)

3.5. Argamassas de substituição

Como esta dissertação está inserida num sistema construtivo, que caiu em desuso. As paredes de tabique existentes, por norma são encontradas em edifícios antigos. Assim, neste capítulo serão abordadas as argamassas de substituição.

Numa obra de reabilitação a primeira opção deve ser sempre a conservação dos materiais existentes. Porém, por vezes, devido ao estado de conservação do edifício ou dos revestimentos em questão, são necessárias substituições parciais ou totais dos revestimentos.

As argamassas de substituição ou de reparação a usar devem ser selecionadas tendo em conta as características das argamassas preexistentes, para que haja uma compatibilidade entre materiais, para evitar o risco de acelerar a degradação (Santos & Veiga, 2012).

Apresentam-se assim, um conjunto de requisitos que procuram estabelecer uma boa compatibilidade entre argamassas e o suporte:

- Não contribuir para degradar os elementos preexistentes, nomeadamente as alvenarias antigas;
- Serem duráveis (e contribuir para a durabilidade do conjunto);
- Não prejudicar a apresentação visual da arquitetura, nem descaracterizar o edifício;
- Alguma resistência mecânica, mas inferior à dos tipos de suportes sobre os quais se prevê que possam vir a ser aplicados;
- Aderência ao suporte suficiente para garantir a durabilidade mas não tão grande que a sua extração possa afetar a alvenaria; a rotura não pode ser coesiva no seio do suporte;
- O módulo de elasticidade deve ser aproximadamente igual;
- A reduzida suscetibilidade à fendilhação; e
- O bom comportamento ao gelo e aos sais solúveis existentes no suporte.

3.6. Requisitos e valores de referência a ter em conta para argamassas de tabique

Segundo a norma NP EN 998-1, para argamassas de uso em geral para rebocos interiores e exteriores devem cumprir os seguintes requisitos, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação das propriedades das argamassas endurecidas (NP EN 998-1, 2010)

Propriedades	Categorias	Valores
Gama de resistências à compressão após 28 d	CS I	0,4 a 2,5 N/mm ²
	CS II	1,5 a 5,0 N/mm ²
	CS III	3,5 a 7,5 N/mm ²
	CS IV	≥ 6 N/mm ²
Absorção de água por capilaridade	W 0	não especificado
	W 1	$c \leq 0,40 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
	W 2	$c \leq 0,20 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$

Para ensaios de aderência, as argamassas de terra são classificadas com base na DIN 18947, com os seguintes requisitos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação de resistência de rebocos de terra (com base na DIN 18947 Santos, 2014)

Classe de Resistência	Aderência [N/mm ²]
S I	>0,05
S II	>0,10

Como esta dissertação esta voltada para a reabilitação, apresentam-se na Tabela 3 os requisitos que Veiga (2003), propõe para argamassas de revestimento de paredes antigas, como é o caso em estudo de paredes de tabique.

Tabela 3 – Requisitos estabelecidos para as características mecânicas e comportamento à água (Veiga, 2003)

Argamassa	Características mecânicas aos 90 dias		Aderência Aos 90 dias- f_u (MPa)	Coeficiente de capilaridade – C ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$)
	R_t	R_c		
Reboco exterior	0,2 - 0,7	0,4 - 2,5	0,1 – 0,3	1 - 1,5
Reboco interior				
Juntas	0,4 - 0,8	0,6 - 3,0	0,1 – 0,5	1 - 1,5

Na pesquisa bibliográfica feita foi possível encontrar os seguintes resultados de várias composições de argamassas com areia ou solo, que se apresentam na Tabela 4.

Tabela 4 – Ensaios de resistência e de durabilidade

Composição	Traço	Caraterísticas mecânicas		Comportamento à água C ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$)	Referência bibliográfica
		R_t (MPa)	R_c (MPa)		
Cal aérea + areia	1:3	0,34	1,28		(Veiga, 2003)
Cal hidráulica: areia	1:3	0,2 - 1,2	0,6 - 3,1	0,158	(Lopes, 2014)
Terra-padrão + cal aérea	1:3			0,23 - 0,5	(Gomes, 2012)
Terra-padrão + cal hidráulica	1:3			0,09 - 0,42	
Terra argilosa + areia	1:3	0,24	0,81		(Nabais, 2015)
Cal hidratada + areia	1:3	0,48 - 1,61	0,48 - 1,84	1,38 - 1,84	(Robalo, 2013)
Terra + areia	1:3			2,45 – 2,92	(Faria & Santos, 2014)
Terra				2,40 – 2,64	

4. TRABALHO EXPERIMENTAL

No presente trabalho experimental foram formuladas seis argamassas distintas com o traço volumétrico de 1:3 (cal: solo). Utilizaram-se três tipos de cal, e foram realizadas as argamassas com e sem óleo numa primeira fase e, numa fase posterior, utilizou-se apenas uma argamassa e foram adicionadas fibras, para o estudo em painéis a representar as paredes de tabique.

Inicialmente foram estudados os materiais, o solo e a cal, e em seguida foi realizado o estudo das argamassas.

4.1. Propriedades do solo

A origem do solo selecionado é do Norte de Portugal, mais precisamente de Guimarães, do campus de Azurém da Universidade do Minho.

De seguida, apresenta-se a caracterização do solo selecionado para este estudo a fim de verificar as suas propriedades e confirmar a adequação do solo para utilização em argamassas para tabique.

4.1.1. Densidade das partículas

A densidade das partículas de um solo é a relação entre a massa de uma amostra de solo e o volume ocupado pelas suas partículas sólidas.

O método usado para o seu cálculo foi o do picnómetro com água, representado na Figura 12, segundo as normas EN 83 e EN – 1097-6. A densidade obtida do solo para em estudo foi de $2,70 \text{ g/cm}^3$ como consta na Tabela 5.

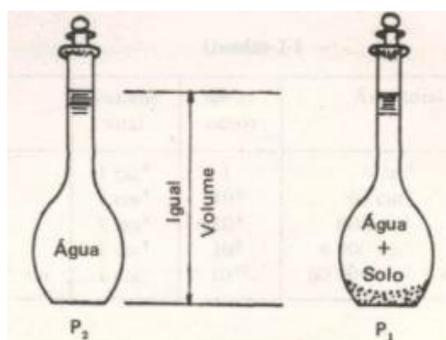


Figura 12- Picnómetro (Silva, 2016)

Tabela 5 – Densidade das partículas

Provete	Amostra 1	Amostra2
Massa picnómetro m ₁ (g)	51,3	45,62
Massa picnómetro + água destilada à temp. de ensaio m ₂ (g)	151,02	145,43
Massa picnómetro + amostra seca m ₄	82,18	75,87
Massa picnómetro + amostra + água destilada m ₅ (g)	170,53	164,45
Temperatura da água (°C)	18°	18°
Fator K	1	1
Massa da amostra seca m ₄	30,88	20,25
Densidade das partículas (g/cm ³)	2,72	2,69
Densidade das partículas g (g/cm ³) - valor médio	2,7	

4.1.2. Sedimentação

O ensaio de sedimentação serve para realização *in situ*, ou seja, pode ser feito na própria obra para rapidamente caracterizar o solo. No próximo item também será descrito o ensaio de equivalente de areia, sendo este apenas realizado em ambientes laboratoriais. Foi realizado o ensaio de sedimentação simples utilizado por Eires (2012) que permite determinar o volume de argila, silte, areia e gravilha.

Num recipiente de vidro foi colocado solo com água e de seguida agitado. Ficou em repouso durante 24h até as partículas depositarem de forma uniforme conforme o seu peso, em que os grossos (gravilha e areia grossa) repousam no fundo e as partículas finas (argila e silte), depositam-se por cima destas. Por fim é medida a altura de cada camada como demonstra a Figura 13 e assim é determinada, aproximadamente, a constituição do solo (Eires, 2012).

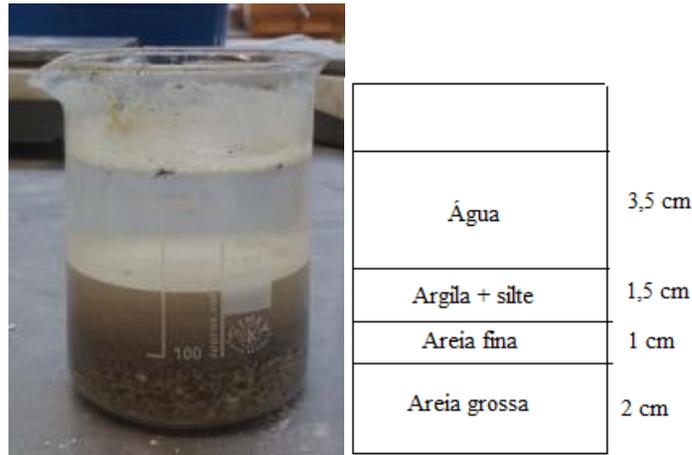


Figura 13 – Sedimentação simples com os respectivos valores em cm

Segundo este ensaio de sedimentação simples as percentagens em volume são: 44,4 % de areia grossa, 22,2 % de areia fina e 33,3 % de argila mais silte.

4.1.3. Análise granulométrica

A análise granulométrica foi feita em duas partes, primeiro foi feita por peneiração e, em seguida, por sedimentação que será descrita no próximo subcapítulo.

Esta análise é feita através do método de peneiração, segundo a norma NP 933-1 2000. Com os resultados obtidos neste ensaio é construída uma curva granulométrica com a percentagem de massa que cada fração de grãos retidos num determinado peneiro representa na massa seca total de solo usado para o ensaio.

Nas figuras seguintes mostra-se como são separados os finos e os grossos de um solo e os peneiros utilizados.

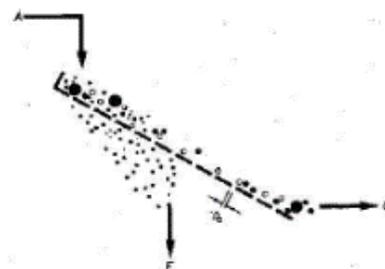


Figura 14 – Separação dos grãos (Santos, 2013)



Figura 15 – Ensaio de peneiração

Na Figura 16, é apresentada a curva granulométrica do solo estudado:

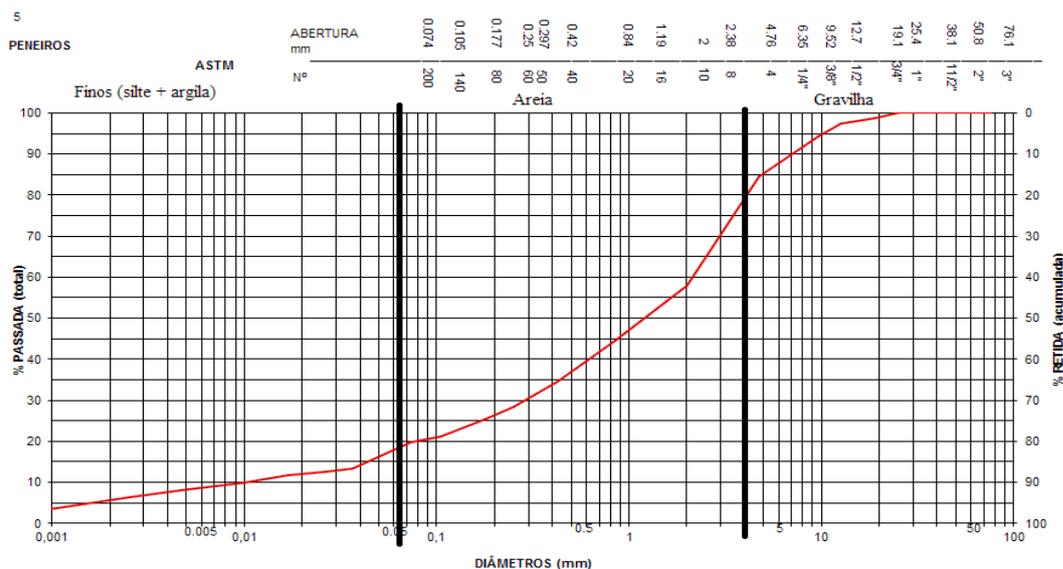


Figura 16 – Curva granulométrica do solo selecionado para este estudo

4.1.4. Equivalente da areia

Este ensaio permite determinar a relação volumétrica que corresponde à razão entre a altura do nível superior da areia e a altura do nível superior da suspensão argilosa de uma determinada quantidade de solo ou agregado fino, num provete. Ou seja quanto maior o equivalente de areia, menor a quantidade de finos (quantidade de argila) na amostra.

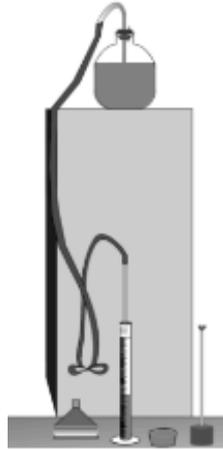


Figura 17- Equipamento equivalente areia

Segundo a norma NP-EN-933-8, 2002, foi determinado o nível superior das suspensões argilosa (h_1) e da areia (h_2). A altura h_1 da solução floculada é lida com uma régua graduada, enquanto a altura h_2 do material depositado é obtida com um pistão padronizado introduzido na proveta. O equivalente de areia é calculado da seguinte forma:

$$EA = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad (4-1)$$

Segundo Poerschke, 2016, um valor de EA inferior a 20 indica ser um material constituído unicamente por argilas. De forma inversa, um material com EA superior a 30, indica ser um solo arenoso.

Tabela 6 – Equivalente de areia (Poerschke, 2016)

Equivalente de Areia	Classificação
EA > 30	Solo satisfatório
EA < 20	Solo mau
20 < EA < 30	Recorrer a outros ensaios

No solo utilizado para o estudo, foram recolhidas 2 amostras e ensaiadas para obter o seu equivalente de areia, como mostra a Tabela 7 e Figura 18.

Tabela 7 – Resultados obtidos do Equivalente de areia

Amostra	1º Proвете	2º Proвете
Massas dos provetes (g)	120	120,05
H ₁ (mm)	220	217
H ₂ (mm)	76	75
100 x (H ₂ / H ₁)	34,55	34,56



Figura 18- Ensaio de equivalente de areia

A conclusão retirada deste ensaio é que estamos perante um solo satisfatório, uma vez que o $EA > 30$.

4.1.5. Azul metileno

Este ensaio foi realizado de acordo com o prescrito na norma NP-EN-933-9, 2002 e seguiu o seguinte procedimento.

‘O princípio do ensaio consiste em introduzir quantidades crescentes de solução de azul-de-metileno, por doses sucessivas, até que a superfície das partículas que têm capacidade de adsorção esteja coberta. Nesse momento passa a existir um excesso de azul-de-metileno na preparação, correspondendo ao ponto de viragem que marca o fim do ensaio, e que pode ser detetado pelo teste da mancha. Este teste consiste em colocar uma gota da preparação num papel de filtro e verificar se existe uma auréola azul mais clara no bordo da mancha. A presença de auréola traduz a existência de azul-de-metileno livre na preparação, evidenciando que todas as partículas suscetíveis de adsorverem azul metileno estão cobertas por uma camada de moléculas daquela substância.’ (Branco, 1996)

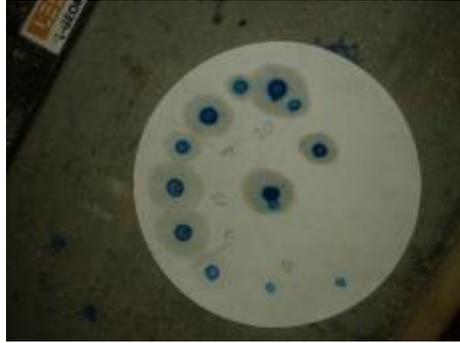


Figura 19 - Ensaio no papel filtro no solo e estudo

O MB_F , valor que define grau de limpeza ou existência de materiais sensíveis à água no agregado, ou seja a quantidade de argila.

O valor do azul metileno (MB) é dado pela expressão:

$$MB = \frac{V_1}{M_1} \times 100 \quad (4.2)$$

Onde:

V_1 é quantidade de solução corante adicionada (20.00ml)

M_1 é a massa do provete (50.41gr)

O solo obteve um valor de MB_F de 0,40 (g/kg da fração granul.0/4.75mm), ou seja, de acordo com NP-EN-933-9, 2002, o solo é arenoso de grão fino.

4.1.6. Propriedades químicas

A última análise feita ao solo foi um ensaio sobre as suas propriedades químicas através do ensaio FRX (espectroscopia de fluorescência de raios X). Segundo Ferretti, 2009 trata-se de uma técnica que permite a identificação dos materiais componentes de um objeto.

Neste caso, pela análise feita ao solo em estudo, como mostra a Tabela 8 e Figura 20, existe no solo em maior quantidade sílica e alumínio.

Tabela 8- Elementos químicos do solo em percentagem

	(%) Secas
Cu	0,01
Pb	0,01
Zn	0,01
Sr	0,02
Ba	0,05
S	0,05
Mn	0,06
Ce	0,06
Rb	0,06
Zr	0,11
P	0,29
Na	0,41
Mg	0,47
Ca	0,74
Ti	0,75
K	3,06
Fe	5,04
Al	20,43
Si	21,32
O	47,04

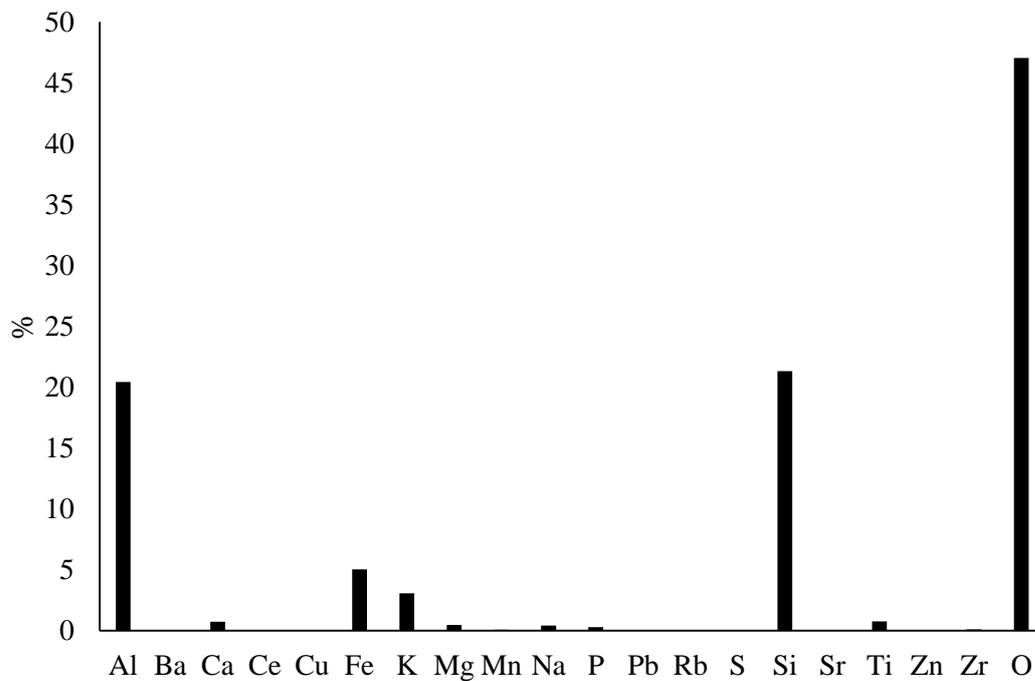


Figura 20 – Elementos químicos no solo em estudo em percentagem

4.1.7. Conclusão

Por fim, numa breve conclusão dos ensaios referentes ao solo, todos indicaram que este, proveniente de Guimarães, mais precisamente da zona de Azurém, é um solo arenoso.

O ensaio da densidade das partículas ajuda na transição que é feita nos capítulos seguintes para mudar o traço das argamassas em volume para peso.

Segundo a análise granulométrica e sedimentação, e como já foi referido, os resultados destes ensaios permitiram verificar que o solo tem cerca de 20% de finos (silte e argila), 60% de areia e 20% de gravilha. Os solos com poucos grossos e com uma boa distribuição granulométrica tendem a ser mais resistentes à água, ou seja irão sofrer menos erosão devido à dificuldade desta penetrar entre os vazios (Eires, 2012).

Para validar o ensaio de sedimentação, foi feito o ensaio de equivalente de areia que, tal como o de azul metileno, indicam que o solo é arenoso e de grão fino. Isto é, o ensaio de sedimentação foi validado.

Segundo Eires (2014), um solo arenoso quando aplicado na construção em terra origina composições com menor erosão. Quando o solo tem poucos finos, ou seja pouca argila, terá menor fissuração, o que não irá influenciar na resistência e durabilidade do solo (Eires, 2014).

Por fim é de referir, que após todos os ensaios conclui-se que o solo não necessitava de correção, como, por exemplo, misturá-lo com outro tipo de solo mais argiloso.

4.2. Propriedades da Cal

Para este estudo foram usados os seguintes tipos de cal: cal hidratada da Lusical com 97,7 % de óxido de cálcio e um diâmetro máximo das partículas de 0,2 mm; cal viva da Lusical com 98,9 % de óxido de cálcio e um diâmetro de 0,125 mm; e cal hidráulica natural, NHL5 da Secil com 77,8% de óxido de cálcio e um diâmetro das partículas entre 0,09 e 0,2 mm.

4.2.1. Propriedades químicas

Tal como foi realizado para o solo, também para cada cal que foi usada neste estudo foram feitas análises FRX cujos resultados se apresentam na Tabela 10. Observa-se que a cal viva e a cal hidratada têm valores de cálcio muito aproximados, enquanto a cal hidráulica natural NHL5 tem uma percentagem de cálcio mais reduzida.

Tabela 9 - Elementos químicos de cada cal em percentagem

Elemento Químico	Cal Hidratada	Cal Viva	Cal NHL 5
Al	0,23	0,04	1,81
Ca	69,83	70,68	55,60
Cu	0,03	0,03	0,02
Fe	0,09	0,08	1,87
K	0,01	-	0,76
Mg	0,43	0,32	1,71
Mn	0,02	-	0,02
Na	-	-	0,15
P	-	-	0,03
Rb	-	-	0,01
S	0,31	0,01	0,98
Si	0,06	0,15	4,37
Sr	0,03	0,04	0,13
Zr	-	0,004	0,02
O	28,45	28,68	32,48

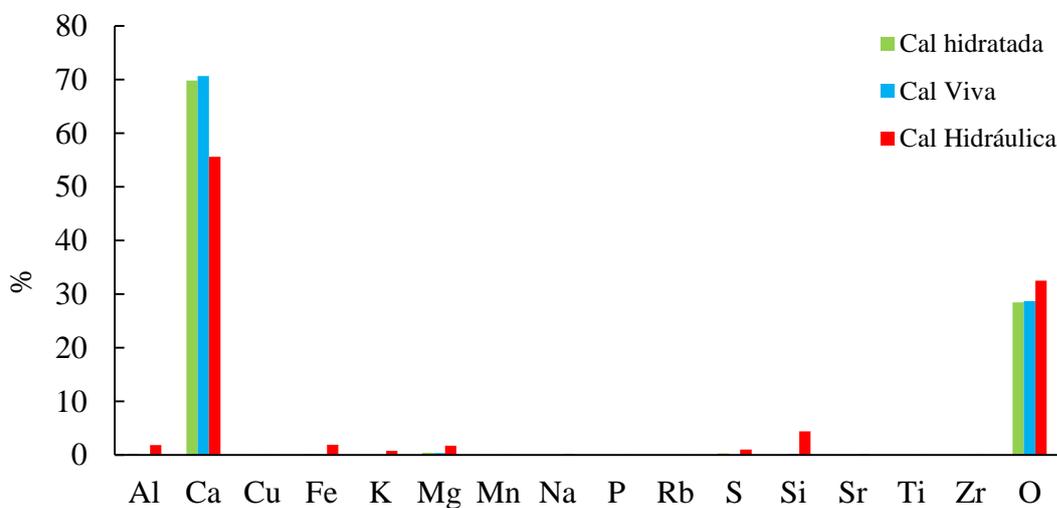


Figura 21 - Elementos químicos em cada tipo de cal estudada em percentagem

4.2.2. Massa volúmica específica – Ensaio de Blaine

Para a determinação da massa volúmica, foi utilizado um método adaptado de uma especificação do LNEC,E 64-1974, para determinação da massa volúmica de cimentos.

Um balão volumétrico de Le Chatelier (Figura 22) foi cheio com gasolina entre a marca 0 e 1 cm³ (V₁) e em seguida foi colocada, com a ajuda de um funil, a cal até a gasolina chegar à graduação entre 18 a 24 cm³. A cal que era colocada no balão foi pesada previamente.

Através da fórmula (4.3) obteve-se a massa específica de cada cal.

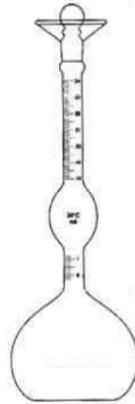


Figura 22 – Balão de Le Chatelier

$$\gamma = \frac{m}{V_2 - V_1} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (4.3)$$

A Tabela 10 estão especificadas as massas volúmicas obtidas das cal usadas.

Tabela 10 – Massa específica de cada cal estudada

	γ (kg/m ³)
Cal Hidratada	2090,0
Cal Viva	3030,0
Cal Hidráulica Natural 5	2685,6

4.3. Hidratação da cal viva

Para este estudo foi utilizado o processo de hidratação ou extinção a quente referido por Eires (2012), mas com mais dias para hidratação da cal. Neste processo, a cal viva é hidratada junto com o solo, para que as partículas se aglomerem melhor entre elas (partículas de solo + partículas de cal viva) e assim a argamassa tenha melhores propriedades tanto a nível de resistência como de durabilidade (Eires, 2014).

Para tal, o solo e a cal viva foram misturados num recipiente segundo o traço 1:3, e foi marcado o meio desse preparado. Num recipiente igual foi colocada água até à marca efetuada do primeiro recipiente que continha solo com a cal.

Na bibliografia encontrada, a água para a hidratação da cal viva foi considerada como a metade do volume do solo junto com a cal viva como ilustra a Figura 23, (Eires, 2012) Depois de produzida, a mistura foi guardada num saco plástico durante 5 dias para a sua hidratação.

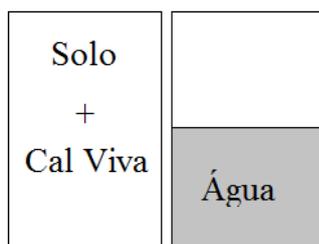


Figura 23 – Representação da obtenção do peso da água para a hidratação da cal

4.4. Adições utilizadas

O óleo utilizado para produção das argamassas, era um óleo de origem vegetal, usado e proveniente da cozinha da cantina da Universidade do Minho, ou seja óleo que serviu para cozinhar, que gentilmente foi cedido para este estudo.

O objetivo de estudar argamassas com óleo usado é, mais uma vez, ter em conta a sustentabilidade, para o reaproveitamento de um resíduo que é tão usado e pouco reutilizado no fim do seu uso, por norma é reutilizado para sabão por exemplo. Tendo em conta que o óleo poderá fortalecer as argamassas com terra, que são mais sensíveis à água, o uso do óleo poderá ajudar na durabilidade das argamassas face à água.

Por sua vez, a utilização de fibras (cânhamo e sisal), terá como objetivo reforçar as argamassas. Neste estudo serão feitos ensaios quanto à sua durabilidade e à sua resistência mecânica.

4.5. Composições de argamassas e preparação de amostras

4.5.1. Composição das amassaduras para os provetes

Numa primeira fase, cada tipo de cal foi testado, com e sem óleo (cal hidratada, viva e hidráulica natural, NHL5), para posteriormente ser analisada a cal com melhor desempenho nos ensaios

das argamassas no estado endurecido, sendo esta testada em amostras de tabique numa segunda fase.

Para a realização das argamassas, usou-se o traço 1:3 (em volume), por ser um traço corrente, e também para se tentar usar o mínimo de cal para tornar ainda mais sustentável a solução construtiva. Este é um indicador que influencia o desempenho das argamassas, tendo em conta a relação da água com o ligante.

De seguida serão descritas as composições usadas para ensaio no estado endurecido:

Tabela 11 – Composições das argamassas para ensaios no estado endurecido

Designação	Composição	Traço
CH_0%O	Cal hidratada Solo (saibro) Água	1:3
CH_1%O	Cal hidratada Solo (saibro) Água 1% Óleo vegetal	1:3
CV_0%O	Cal viva Solo (saibro) Água	1:3
CV_1%O	Cal Viva Solo (saibro) Água 1% Óleo vegetal	1:3
CNHL_0%O	Cal hidráulica natural Solo (saibro) Água	1:3
CNHL_1%O	Cal hidráulica natural Solo (saibro) Água 1% Óleo vegetal	1:3

Para a realização destas argamassas houve a preocupação de transformar o traço em volume de 1:3 pretendido para massas em gramas, devido ao fato de que num ambiente de laboratório é mais correto e preciso, ter as quantidades em massas. Isso foi possível através das equações

(4-4), (4-5) e (4-6), sendo o volume de vazios considerado 0, e x é a razão água ligante encontrada no ensaio de espalhamento, descrito no capítulo 4.5.3.

$$\text{Agregado} = 3 \times \text{ligante} \quad (4-4)$$

$$\frac{\text{água}}{\text{ligante}} = x \quad (4-5)$$

$$\frac{\text{ligante}}{\gamma_{\text{ligante}}} + \frac{\text{agregado}}{\gamma_{\text{agregado}}} + \frac{\text{água}}{\gamma_{\text{água}}} + V_v = 1 \text{ m}^3 \quad (4-6)$$

4.5.2. Composição das amassaduras para o tabique

No capítulo 5.2 serão mais aprofundados os resultados obtidos no estado endurecido das argamassas. Mas foi através da análise dos resultados destes ensaios, exceto o ensaio de permeabilidade ao vapor de água, que foi escolhida a cal com melhor desempenho.

Nesta segunda fase serão adicionados à cal viva, sendo esta a que obteve melhores resultados, aditivos tais como: óleo vegetal (óleo usado da cantina da Universidade do Minho), e fibras naturais para evitar o aparecimento de fissuras. Foram utilizadas fibras de sisal e cânhamo (com dimensões próximas de 2 cm) e, por fim, uma rede de polipropileno (malha 5x5 mm), a mesma que é usada frequentemente no sistema ETICS, como ilustra a Figura 24.

Na tabela 12 estão descritas as quantidades usadas dos aditivos em relação ao ligante, bem como a razão água ligante adotada.

Tabela 12 – Composições das argamassas para tabique

Aditivos	Traço	Cal	Percentagem de aditivos (%)
Sem óleo			-
Com óleo			1
Sisal	1:3	Viva	2,5
Sisal + cânhamo			2,5

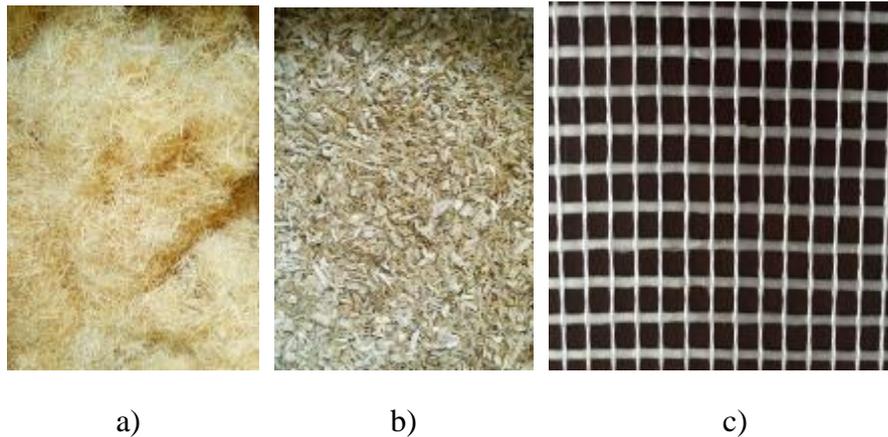


Figura 24 – a) Fibra de Sisal; b) Fibra de cânhamo; e c) Rede de polipropileno

4.5.3. Ensaio às argamassas no estado fresco – consistência por espalhamento das argamassas

Para encontrar a razão água/ligante e, assim, encontrar a dosagem ideal de água para as amassaduras e conseqüentemente a trabalhabilidade suficiente, foi realizado o ensaio de espalhamento segundo a norma EN 1015-3, 2004. O espalhamento considerado ideal foi entre 140 e 160 mm.

Os ensaios foram realizados numa mesa de espalhamento que está representada na Figura 25 e, no fim do ensaio, foi medido o diâmetro de espalhamento em duas direções perpendiculares (Figura 26).

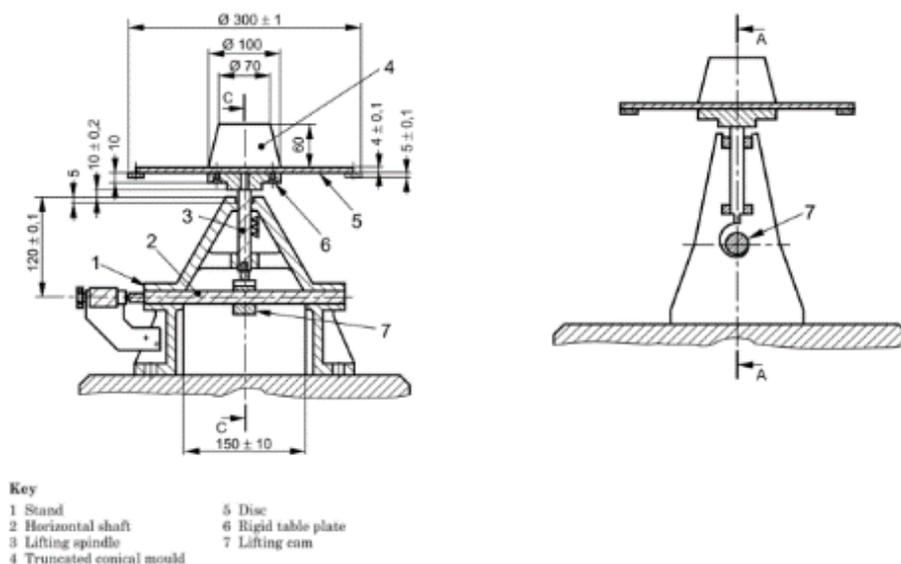


Figura 25 – Equipamento para a realização do ensaio de espalhamento



Figura 26 – Ensaio de espalhamento

Para obter o teor de ar nas argamassas no estado fresco, que consiste na percentagem volumétrica da quantidade de ar, foi realizado o ensaio com o aerómetro representado na figura 27, através do método da pressão. Para a realização deste ensaio foi seguida a norma EN1015-7, 1999.



Figura 27 – Equipamento para obter o volume de vazios das argamassas no estado fresco

4.5.4. Preparação e cura dos provetes

Nesta fase foram produzidos provetes prismáticos com $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$, cúbicos com 50 mm de aresta e provetes cilíndricos com 150 mm de diâmetro e 20 mm de altura (ver Figura 28).



Figura 28 – Provetes para ensaios no estado endurecido

As argamassas foram produzidas segundo a norma NP EN 196-6, 1990 (também adaptada para argamassas de cal) seguindo os tempos de mistura descritos na mesma. O processo iniciou-se com a pesagem dos materiais para a realização das amassaduras: a cal, o solo (peneirado através do peneiro de 4 mm segundo a ISO 3310—2:1990), a água e o óleo, quando aplicável.

De seguida, a cal e o solo foram colocados na misturadora, e a água suficiente para a boa trabalhabilidade foi adicionada aos poucos, com bastante cuidado para não haver desperdícios. A misturadora foi ligada na velocidade 1 (140 ± 5 rotação min^{-1}). A mistura prolongou-se durante 3 minutos, com uma interrupção para que o material dos bordos fosse bem integrado. O processo termina com todos os materiais bem homogeneizados.

Avaliou-se a trabalhabilidade de cada argamassa através do ensaio da mesa de espalhamento, realizado de acordo com a EN 1015-3, 1999, da mesma forma descrita em 4.5.3, para verificar se a amassadura estava dentro dos padrões (espalhamento) que a norma exige.

Antes de colocar a amassadura nos moldes, estes foram lubrificados com óleo mineral para descofrar no fim da cura com facilidade. Por fim, foram postos nos moldes até meio e os mesmos submetidos a um compactador mecânico com 60 pancadas. Após a compactação da primeira camada, foi colocada a segunda e o conjunto foi submetido novamente a 60 pancadas. Para finalizar, a superfície foi rasada por intermédio de uma colher de pedreiro. Este processo tem a finalidade de retirar o máximo de vazios da argamassa no estado fresco.

Para a cura dos provetes, os moldes foram colocados em sacos de plástico e colocados numa sala com condições de humidade relativa (HR) e temperatura (T) de 65 ± 5 % e 20 ± 3 °C durante 5 dias. Após este período, os provetes foram desmoldados e mantidos num outro compartimento do laboratório com temperaturas próximas dos 21 °C e humidade relativa de 55,5 % e

concentração de CO₂ era de cerca de 3,4%, até completarem as idades para realização dos ensaios (14, 28 e 90 dias).

4.5.5. Preparação e cura dos painéis de tabique e blocos

Após a realização dos ensaios de durabilidade e resistência dos provetes, que nos capítulos seguintes serão melhor explorados e esclarecidos, e conclui-se que a cal que apresentou melhor desempenho foi a cal aérea no estudo. Na realização da amassadura para os painéis (ver Figura 29) e para os blocos (ver Figura 30) apenas foi utilizada essa cal, com o mesmo procedimento dos provetes prismáticos mas com a adição de reforços através de fibras (sisal e cânhamo). As composições realizadas foram já descritas em 4.5.2.



Figura 29 – Produção dos painéis de tabique (50x30 cm)



Figura 30 – Moldes dos blocos para o ensaio de erosão (20x20x2 cm)

4.6. Ensaio das argamassas no estado endurecido

4.6.1. Flexão

O ensaio mecânico de resistência à tração por flexão foi realizado de acordo com a norma (EN 1015-11, 1999), utilizando uma prensa universal. Foram marcados três pontos de referência no provete prismático de 40x40x160 mm³, este foi colocado nos apoios como mostra a Figura 31, havendo o cuidado de dispor a face rugosa na lateral para que as faces lisas ficassem em contacto com o equipamento, para evitar que as irregularidades da face carregada influenciassem os resultados. Foi utilizada uma célula que aplicava uma força no provete com uma velocidade de deslocamento de 0,005 mm/s até à rotura.



Figura 31 – Ensaio de tração por flexão

A resistência à tração por flexão é obtida por aplicação da seguinte equação:

$$R_t = \frac{F_f \times l}{b \times d^2} \times 1,5 \quad (4-7)$$

Onde R_t é a resistência à tração por flexão (N/mm²), F_f é a força máxima aplicada, l a distância dos apoios e $b = d$ são os lados da secção quadrada do provete (40 mm).

4.6.2. Compressão

Com o mesmo equipamento, mas com um dispositivo de compressão e uma velocidade de deslocamento de 0,01 mm/s foi determinada a resistência à compressão, como está exposto na Figura 32. Para este ensaio foram usadas as metades dos provetes resultantes do ensaio de flexão. O ensaio de compressão também seguiu de igual forma a norma (EN 1015-11, 1999). Colocou-se o provete com a face rugosa na lateral, tal como foi feito na flexão.



Figura 32 – Ensaio de compressão, pela prensa Lloyd com o dispositivo de compressão

A resistência à compressão em MPa é obtida através da seguinte expressão:

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad (4-8)$$

Em que R_c é a força máxima de compressão que leva o provete à rotura e A é a área de carga ($40 \times 40 \text{ mm}^2$).

4.6.3. Absorção de água por capilaridade

Este ensaio tem como objetivo colocar um provete de argamassa em contato com a água até esta penetrar pelos poros capilares, até a uma dada altura, e obter a velocidade com que este fenómeno se dá.

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado de acordo com a norma (EN 1015-18, 2002). Para o mesmo, utilizou-se uma amostra de dois provetes (provenientes do ensaio de tração por flexão) para cada tipo de argamassa, resultantes do ensaio de flexão após processo de cura de 28 e 90 dias. Os provetes, previamente, foram colocados numa estufa sujeitos a uma temperatura de 65°C até estarem com massa constante, tendo sido impermeabilizados lateralmente com silicone após terem arrefecido. Os provetes foram colocados com a face fraturada em imersão parcial, ficando a altura da lâmina líquida a cerca de 10 mm acima da base dos provetes. Através de pesagens periódicas, determinou-se o aumento de massa ao longo do tempo. Na Figura 33 observam-se provetes durante o ensaio de absorção de água por capilaridade.



Figura 33 – Ensaio de absorção de água por capilaridade

A capilaridade foi analisada através da velocidade de absorção de água pela argamassa, que é determinada a partir da proporcionalidade verificada entre o volume de água absorvido por unidade de área com a raiz quadrada do tempo nas primeiras horas de ensaio. Onde se verifica uma linearidade do gráfico obtido após as pesagens, como mostra a Figura 34 os valores do coeficiente de capilaridade são dados em $\text{kg/m}^2(\text{min}^{0.5})$.

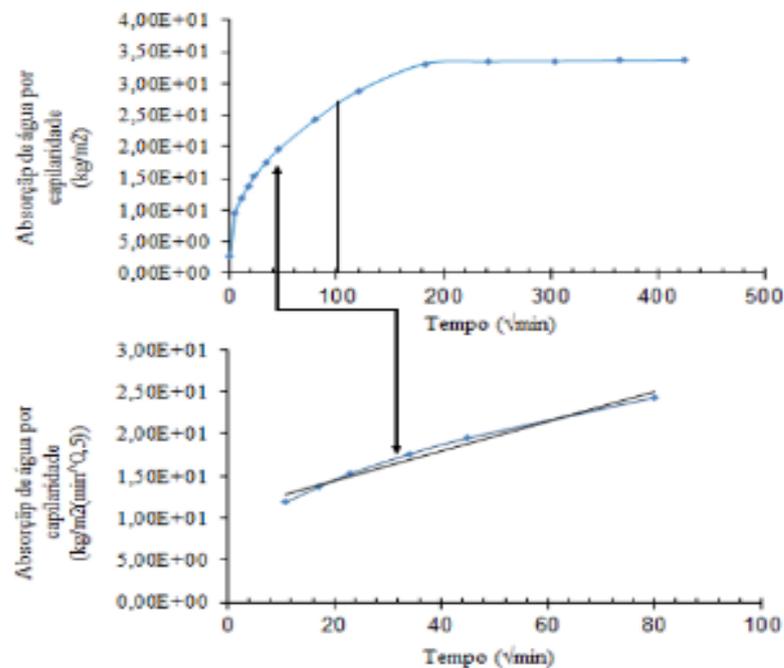


Figura 34 – Exemplo dos graficos obtidos no ensaio de absorção por capilaridade

4.6.4. Absorção de água por imersão

Para as diferentes composições determinaram-se os valores da absorção de água por imersão. O procedimento experimental baseou-se na especificação (E394, 1993) do LNEC, com provetes cúbicos que foram curados durante 28 e 90 dias de cura ao ar do laboratório.

Ao fim dos tempos de cura estipulados, os provetes foram colocados numa estufa a uma temperatura de 65 °C durante 24 horas e pesados consecutivamente para garantir que as suas massas volúmicas secas encontravam-se constantes, e em seguida eram imersos em água mais 24 horas e aquando a obtenção da massa volúmica saturada estivesse constante, imersos num balde preso a uma balança para obter massa hidrostática dos provetes saturados. Na observam-se dois provetes durante o ensaio de absorção de água por imersão.

4.6.5. Ultrassons

Esta técnica de ensaio é não destrutiva, ou seja, o provete submetido à prova não é danificado. Porém, para este ensaio foram utilizados os provetes para os ensaios à tração por flexão e compressão antes destes serem ensaiados. Serve como base para estimar a resistência do material juntamente com os ensaios anteriormente citados.

Esta técnica avalia a velocidade de propagação de ondas elásticas que resultam do impulso ultrassónico que é percorrido entre dois pontos (Figura 35). As ondas percorrem o material e com a obtenção do tempo percorrido é possível avaliar a qualidade do material.

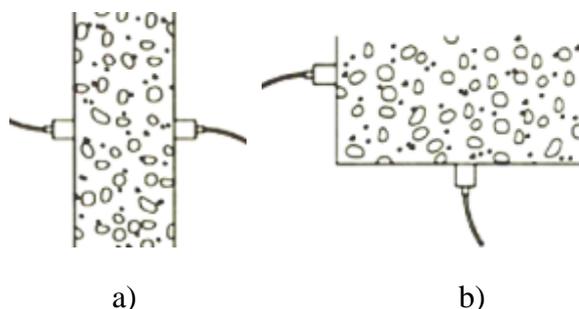


Figura 35 – Método de medição do tempo de propagação das ondas ultrassónicas: a) método direto; b) método indireto (adaptado de CEN, 2004)

As ondas elásticas são propagadas através de vibrações entre as partículas solidas do material em estudo. Assim, é possível concluir que quanto mais vazios possuir o material maior será a velocidade.

‘A técnica do ensaio consiste na colocação de dois transdutores em contacto com a superfície a analisar. O transdutor com a função de transmissor emite o impulso ultrassónico que atravessa a argamassa e é posteriormente recebido pelo outro transdutor (recetor). O tempo gasto neste percurso é medido e fornecido eletronicamente pela unidade de medida central.’ (Gonçalves, 2010)

O ensaio foi realizado segundo dois métodos: direto e indireto. O método direto permite ter resultados com maior certeza. Existem fatores que influenciam o ensaio os que mais se

destacam para este o caso em estudo são, nomeadamente, a constituição da matéria, existência de descontinuidades, teor de humidade.

4.6.6. Permeabilidade ao vapor de água

Com o objetivo de analisar o comportamento à humidade do ar, o ensaio de permeabilidade ao vapor de água é um ensaio que nos possibilita obter a informação necessária. Para tal ele é realizado atendendo à norma (EN 1015-11, 1999). Foram utilizados os provetes cilíndricos com diâmetro de 150 mm e espessura de 20 mm e foram apenas testadas duas composições: cal viva com e sem óleo. A escolha foi feita através dos ensaios de resistência aos 14 e 28 dias, em que a cal viva obteve melhores resultados e havia uma necessidade de comparar a permeabilidade ao vapor de água com o aditivo, para ter uma noção se o óleo reduzia a passagem do vapor o que poderia ser prejudicial.

Através das quantidades de vapor de água que atravessam o provete, que é colocado entre dois ambientes diferentes é determinada a permeabilidade da argamassa ao vapor de água.

Para criar os dois ambientes diferentes os provetes são colocados em cápsulas como mostra a Figura 36, que no seu fundo contém uma solução salina de nitrato de potássio (segundo a norma consegue criar uma humidade relativa de 93,2% a 20°C) e assim esse ambiente é criado no interior da cápsula. E o local onde é colocado o provete, é o segundo ambiente em que é necessário controlar a humidade relativa e temperatura. As cápsulas foram pesadas e isoladas com papel celofane transparente.



Figura 36 – Esquema da cápsula de teste (Eires, 2012)

Este ensaio foi realizado num ambiente com humidade relativa de 60 % e temperatura média de 24°C.

A realização deste ensaio ocorreu a partir dos 28 dias de idade dos provetes até aos 90 dias, com pesagens diárias. Para se obter a permeabilidade ao vapor de água (π) foi usada a seguinte equação:

$$\pi = \Lambda \times e \text{ (em kg/m.s.Pa)} \quad (4-9)$$

Em que a espessura é 'e', Λ é a permeância ao vapor de água que é determinada através:

$$\Lambda = \frac{1}{A \times \frac{\Delta p}{\Delta G} - t} \quad (4-10)$$

Em que:

A = área da abertura do copo de ensaio (m²);

Δp = diferença de pressão do vapor de água entre ar ambiente e a solução salina saturada, calculado em quadros adequados (Pa);

$\Delta G/\Delta t$ = fluxo do vapor de água (kg/s);

RA = resistência ao vapor de água da folga de ar entre o provete e a solução salina (0,048x109 Pa m² s/kg por 10 mm de folga).

Para calcular a diferença de pressão de vapor de água (Δp) segue-se a equação:

$$P = P_s \times \frac{HR}{100} \quad (4-11)$$

Em que HR é a humidade relativa onde os provetes estão expostos e P_s é a pressão de saturação que foi obtida através da Tabela 13, considerando que a temperatura média do ensaio foi de 24°C.

Tabela 13 - Pressão parcial do vapor em função da temperatura (Eires, 2012)

Temperatura (°C)	Ps (Pa)
18	2060
19	2195
20	2336
21	2483
22	2640
23	2806
24	2980
25	3164

Ou seja no caso em estudo a pressão de saturação é de 2980 Pa.

Por fim, o fluxo de vapor de água ($\Delta G/\Delta t$) é retirado através do gráfico representado na Figura 37, obtido através das pesagens diárias realizadas durante o ensaio em relação à duração do mesmo.

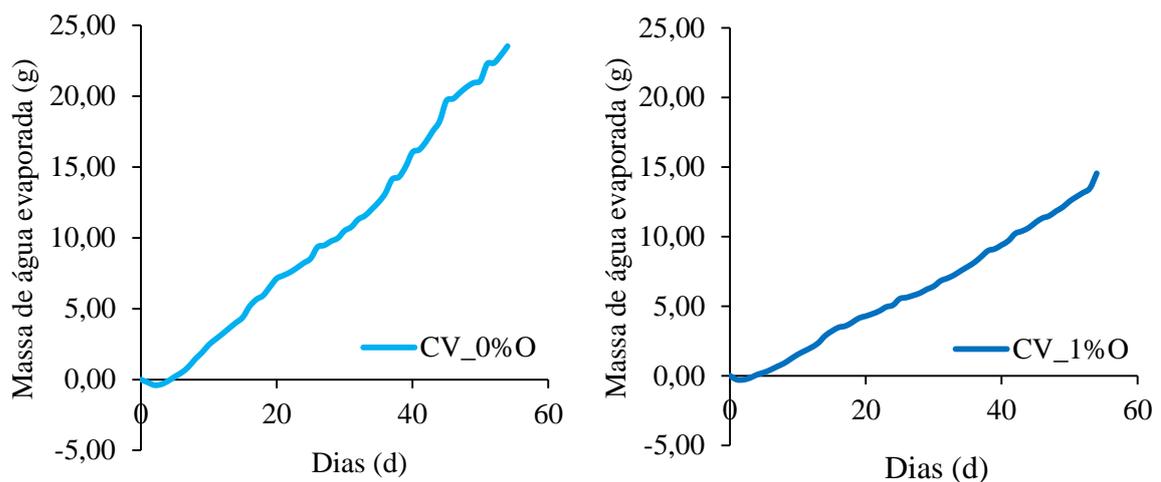


Figura 37 – Fluxo de vapor de água (esq.) cal viva sem óleo, (dir.) cal viva com

A permeabilidade ao vapor de água não tem de ser muito baixa, pois ao introduzir argamassas com uma baixa permeabilidade num compartimento como, por exemplo, uma cozinha, ao dificultar a evaporação da água existente na parede pode originar condensações ou por outro lado, cristalização de sais e posteriores anomalias nos rebocos como separação destes com o suporte ou bolores. Terá de haver um equilíbrio para não criar esse tipo de fenómeno.

4.7. Ensaio em painéis de tabique

4.7.1. Erosão acelerada por jato de água para simulação de chuva

O ensaio de erosão consiste em determinar a taxa de desgaste de um material através da perda de massa numa superfície sólida de um material devido ao impacto de um fluido. Com a obtenção desses valores de perdas de massa e verificação de alterações geométricas da superfície devido ao impacto das partículas, será possível avaliar a durabilidade do material e o seu comportamento face ao fluido (IPN, 2013).

No presente caso serão submetidos ao desgaste blocos de argamassa de cal com medidas e composições já expostas no capítulo 4.5.2., através de um jato de água, como indica a Figura 38 e a Figura 39.

O ensaio consistiu em dois ciclos de molhagem e secagem, ou seja o bloco era colocado ao fim de 90 dias de idade numa estufa durante 12 horas, depois era retirado, arrefecido e pesado. De seguida era colocado no tanque do simulador de chuva durante 2 horas como mostram as figuras 38 e 39. Ao fim das 2 horas era colocado de volta na estufa mais 12 horas e repetiu-se o processo de arrefecer e pesar e por fim colocar o bloco pela segunda vez no tanque de simulação de chuva

Entre a saída da água e o meio do bloco a distância era de 36 cm. E este estava assente numa plataforma de apoio com uma malha vazada para permitir o escoamento da água, com uma inclinação de 30°. A pressão de saída da água foi de 45 kPa, com um caudal de 14,26 l.min⁻¹ (Rezende, 2015).

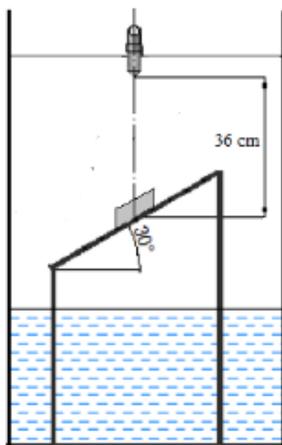


Figura 38 - Tanque do Simulador de Chuva (Rezende, 2015)



Figura 39 - Tanque do Simulador de Chuva

4.7.2. Ensaio de absorção de água com tubo de Karsten

Trata-se de uma técnica de ensaio simples, destinada a avaliar a porosidade e permeabilidade à água superficial de uma alvenaria ou revestimento (LNEC, 1995). Com os resultados obtidos podemos ter uma noção da permeabilidade das argamassas estudadas e estimar o seu grau de durabilidade (Pereira, 2011).

Na presente dissertação, o ensaio será realizado em painéis com dimensões 30 x 50 cm² que simulam uma parede de tabique (Figura 40).



Figura 40 – Paineis para simulação de uma parede de tabique

Para este ensaio são necessários tubos de vidro graduados de 0 a 4 cm³, como mostra a Figura 41, em forma de cachimbo. A secção aberta é fixada à superfície do painel com meio de silicone, demonstrado na Figura 42. No tubo é colocado água até a uma altura de 9,8 o que corresponde a uma pressão de 0,96 kPa. As leituras indicam o abaixamento do nível da água, ou seja o volume de água absorvida pela argamassa durante os intervalos de tempo definido. O tubo foi

atestado até 0 cm³ e foi feita uma primeira leitura do abaixamento da água após 5 minutos de espera. O procedimento foi seguido pela ficha do LNEC FE Pa 39.1.

As leituras foram realizadas aos 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 minutos (Gonçalves, 2010). Em cada leitura a água era repostada aos 0 cm³, para garantir que em todas as leituras teríamos a mesma pressão.



Figura 41 – Cachimbo para o ensaio de Karsten

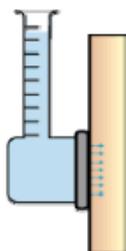


Figura 42 – Aplicação do tubo de karsten, (Pereira, 2011)

4.7.3. Ensaio de aderência ao suporte

Este ensaio tem como finalidade avaliar a aderência da argamassa ao suporte utilizado tal como o próprio nome indica.

O procedimento deste ensaio baseia-se na norma EN 1015 - 12, 2000, para a realização deste ensaio foi utilizado um equipamento de que permite arrancar pastilhas metálicas com cerca de 50 mm de diâmetro previamente coladas à argamassa a testar.

Para a realização do ensaio, foram coladas as pastilhas metálicas nos painéis de tabique, tal como no ensaio de tubo de Karsten, colocou-se uma sobre as ripas e outra entre as ripas. Para o ensaio com o equipamento de arrancamento este foi posicionado na perpendicular à superfície dos painéis, como se encontra na Figura 43, e aplicou-se uma força à pastilha, sem choque e uniforme até à sua remoção da superfície.



Figura 43 – Equipamento para o ensaio de adesão (arrancamento)

A tensão de aderência é obtida pela seguinte equação:

$$f_u = \frac{F_u}{A} \quad (4-12)$$

Em que: f_u é a tensão de aderência em MPa, F_u é a força de rotura facultada pelo equipamento em N e A é a área de ensaio em mm^2 .

Segundo a norma, existem três tipos de rotura no ensaio de arrancamento. A rotura adesiva, que ocorre por perda de aderência na interface. E duas roturas coesivas, que ocorrem, na camada de reboco ou no suporte. No caso de ocorrer rotura pela cola o resultado é anulado. Estão representadas na Figura 44 as roturas possíveis, em que na rotura tipo a) o resultado é igual à tensão de aderência, no tipo b) ou c) o resultado é considerado um limite inferior da tensão de adesão.

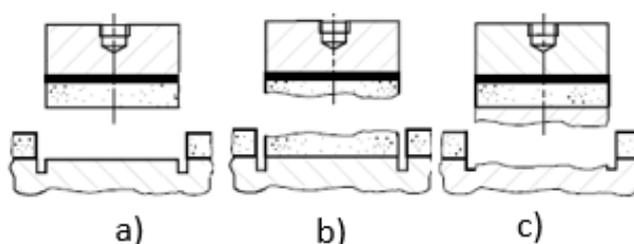


Figura 44 – a) Rotura adesiva tipo ‘a’; b) Rotura coesiva tipo ‘b’; c) Rotura coesiva tipo ‘c’;
(EN 1015 - 12, 2000)

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1. Ensaio às argamassas no estado fresco - Trabalhabilidade das argamassas

Em seguida expõem-se os resultados obtidos do ensaio de espalhamento para adquirir a melhor razão água ligante possível, a fim de conseguir melhor trabalhabilidade sem comprometer as propriedades da argamassa.

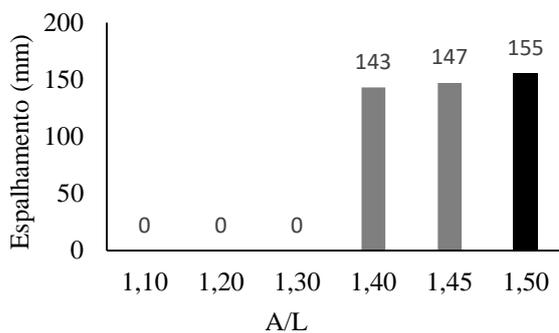


Figura 45 – Cal hidratada sem óleo

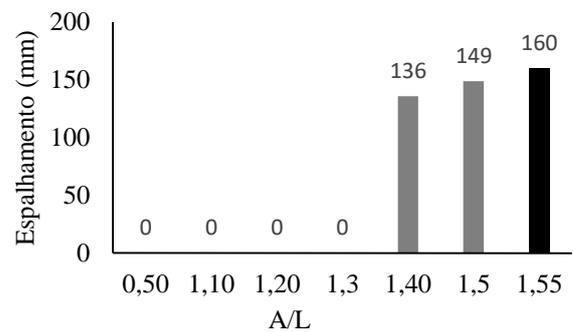


Figura 46 – Cal hidratada com óleo

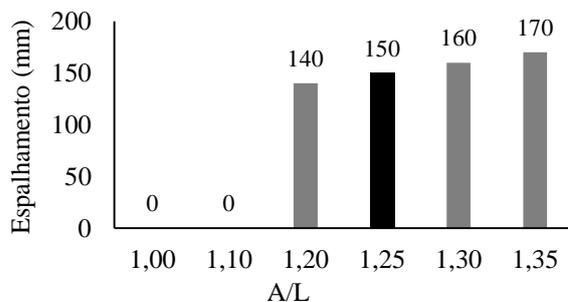


Figura 47 – Cal viva sem óleo

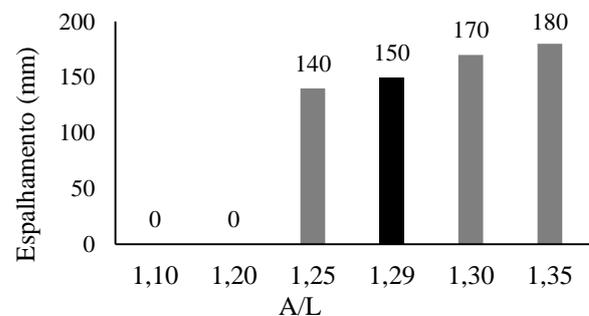


Figura 48 – Cal viva com óleo

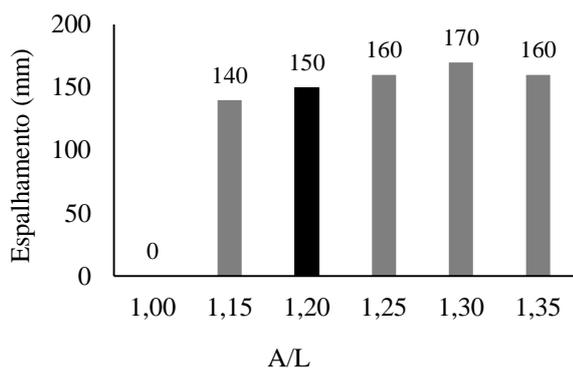


Figura 49 – Cal NHL 5 sem óleo

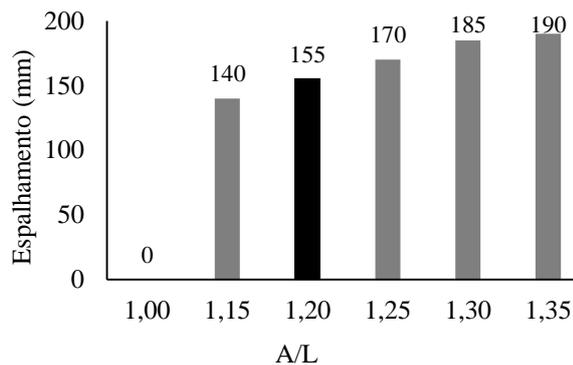


Figura 50 – Cal NHL 5 com óleo

Tabela 14 – Resumo da razão A/L para produzir as argamassas

	Razão A/L	
	Sem óleo	Com óleo
Cal Hidratada	1,5	1,55
Cal Viva	1,25	1,29
Cal NHL 5	1,2	1,2

Pelos gráficos apresentados e pela Tabela 14 observa-se que a argamassa com cal hidratada tem uma razão água/ligante superior. Apesar da argamassa com cal viva ter uma razão A/L de 1,25 para a composição sem óleo e com óleo 1,29, durante a preparação dos provetes houve necessidade de acrescentar água. Essa carência de água pode ser devida ao facto da hidratação da cal viva não ter sido suficiente, o que dificultou a precisão de água usada tanto para a produção dos provetes como dos painéis de tabique.

O fim do estudo das argamassas no estado fresco terminou com o ensaio para a obtenção do teor de ar que mais tarde servirá de apoio a retirar conclusões de outros ensaios no estado endurecido. Mais precisamente ensaios como: compressão, flexão, absorção por capilaridade, por imersão e tubo de Karsten.

Valores elevados de teor de ar significam que há maior volume de vazios ou seja o material é mais poroso o que poderá comprometer as resistências à flexão e compressão (Frazão, 2014).

Na Tabela 15 observa-se que as percentagens de volume de vazios comparando com e sem óleo são bastante semelhantes. Verifica-se ainda que a argamassa com cal hidratada apresenta menor percentagem de volume de vazios.

Tabela 15 – Resultados obtidos do volume de vazios das argamassas no estado fresco

	Volume de vazios (%)	
	Sem óleo	Com óleo
Cal Hidratada	3,3	3,4
Cal viva	4,4	4,5
Cal NHL 5	4,7	4,8

5.2. Ensaaios das argamassas no estado endurecido

5.2.1. Flexão

Nas figuras seguintes são apresentados os resultados dos ensaios de resistência à tração por flexão aos 14, 28 e 90 dias. O valor das resistências é resultado da média de 3 provetes por idade de cada tipo de argamassa estudada.

Tabela 16 – Resultados obtidos do ensaio de Flexão

Mistura	Tempo de cura (d)	Média da Tensão de flexão (Mpa)	Coefficiente de variação
CH_0%O	14	0,3	26%
CH_1%O		0,32	1%
CV_0%O		0,66	9%
CV_1%O		0,66	22%
CNHL_0%O		0,27	8%
CNHL_1%O		0,24	7%
CH_0%O	28	0,38	7%
CH_1%O		0,45	5%
CV_0%O		0,85	4%
CV_1%O		0,65	26%
CNHL_0%O		0,40	6%
CNHL_1%O		0,43	2%
CH_0%O	90	0,30	5%
CH_1%O		0,32	14%
CV_0%O		0,66	10%
CV_1%O		0,66	16%
CNHL_0%O		0,27	14%
CNHL_1%O		0,24	12%

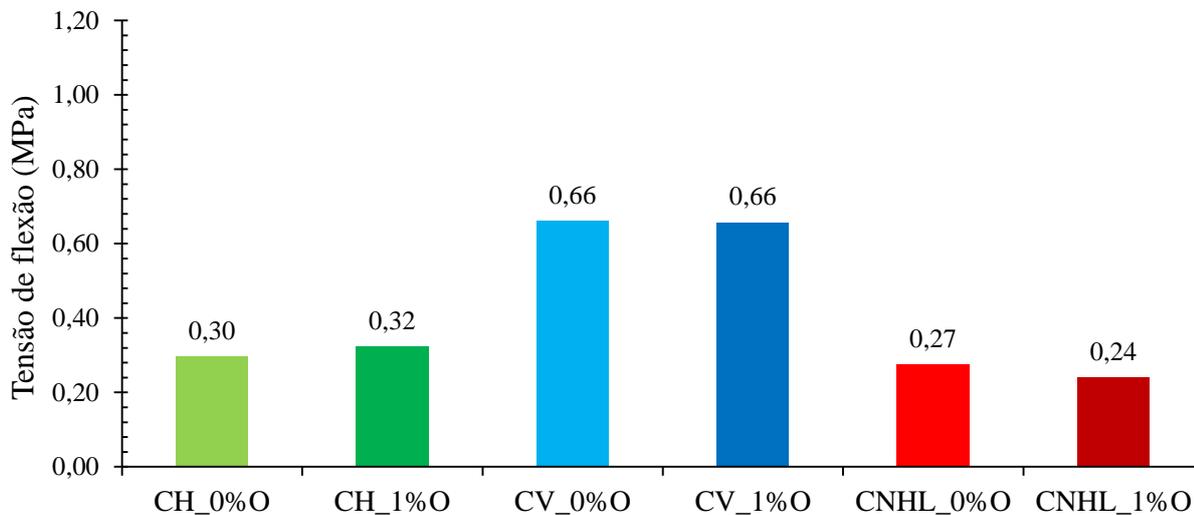


Figura 51 – Tensão de flexão (MPa) aos 14 dias

Aos 14 dias verificou-se que a argamassa de cal viva, com e sem óleo obteve a melhor resistência.

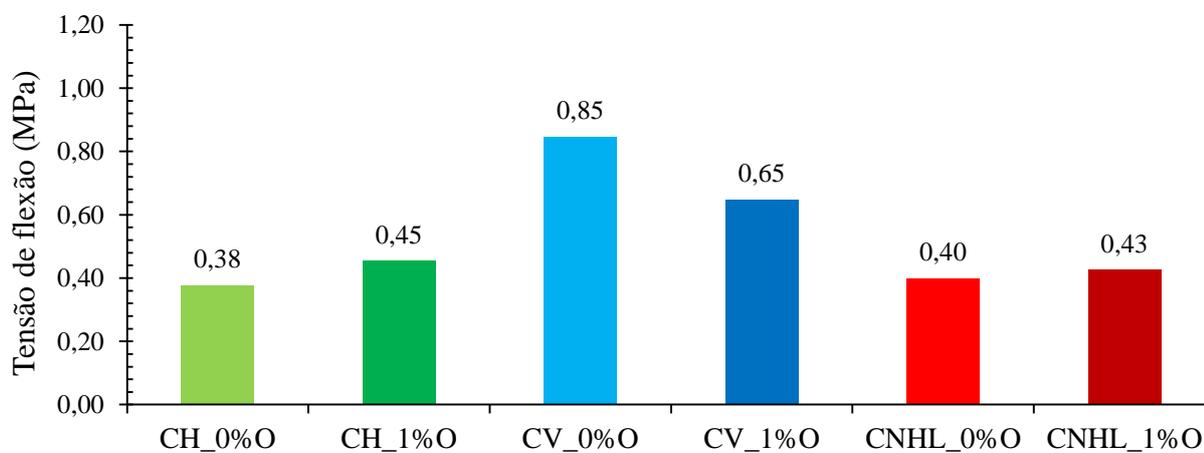


Figura 52 - Tensão de flexão (MPa) aos 28 dias

Aos 28 dias verificou-se que houve um aumento de resistência em todas as composições, exceto a argamassa de cal viva com óleo, que manteve o mesmo comportamento.

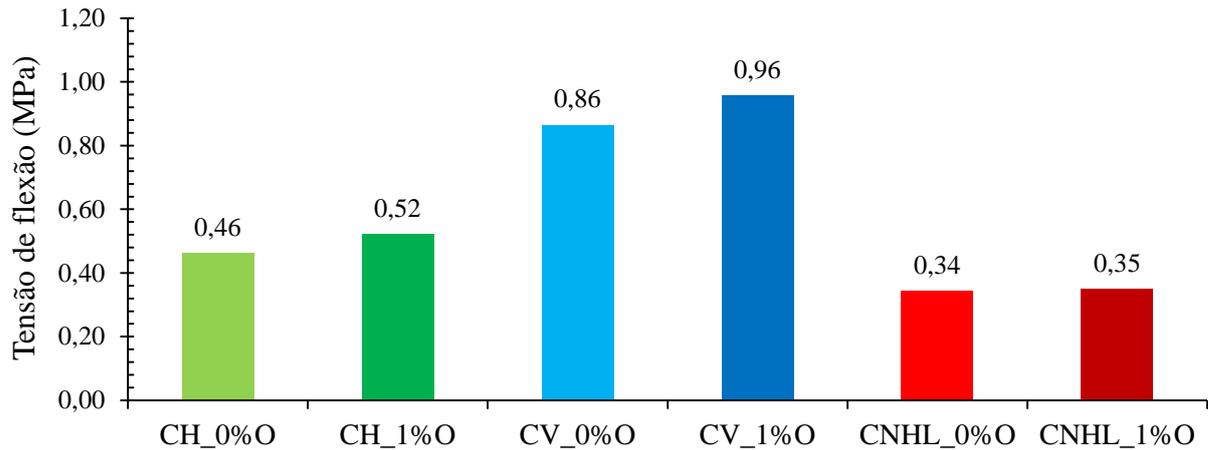


Figura 53 - Tensão de flexão (MPa) aos 90 dias

Dos 28 para os 90 dias a argamassa de cal viva sem óleo manteve a mesma resistência, mas com o aditivo (óleo) a resistência teve um grande aumento. Também é observado que a argamassa de cal hidráulica natural com e sem óleo teve uma diminuição de resistência.

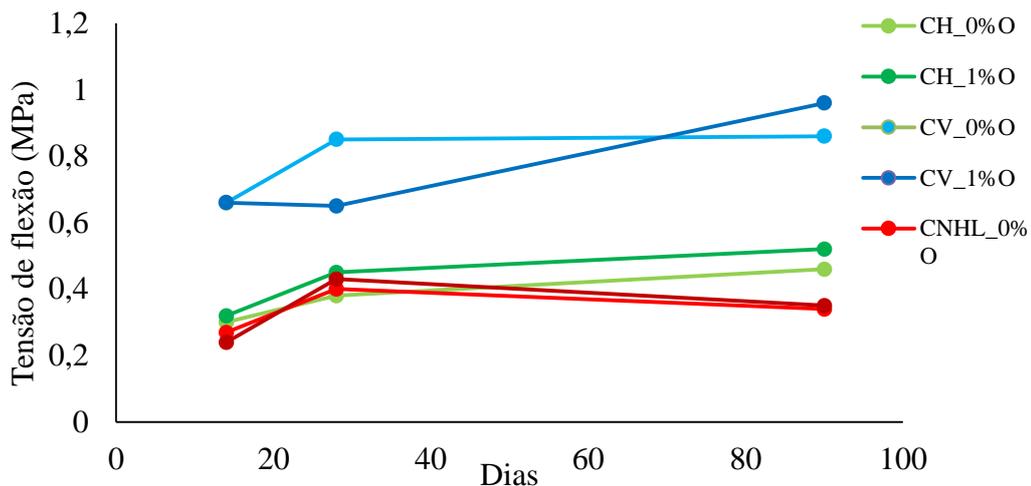


Figura 54 – Resumo das tensões de flexão aos 14, 28 e 90 dias

Em resumo, ao longo das idades estudadas a argamassa de cal viva com e sem óleo obteve sempre a melhor resistência à tração por flexão. Verificando-se ainda que as resistências da argamassa de cal viva com óleo poderão continuar a aumentar após os 90 dias.

5.2.2. Compressão

Da mesma forma que o ensaio de flexão, o ensaio de compressão foi realizado com as mesmas idades.

Na resistência à compressão as argamassas tem de garantir valores mínimos estabelecidos pela norma NP EN 998-1, 2010, para que sejam classificadas de ‘argamassas de uso geral para rebocos exteriores/interiores’. Para tal devem resistir a um valor mínimo de 0,4 MPa.

Tabela 17 – Resultados obtidos do ensaio de compressão

Mistura	Tempo de cura (d)	Média da Tensão de Compressão (Mpa)	Coefficiente de variação
CH_0%O	14	0,77	4%
CH_1%O		0,62	4%
CV_0%O		1,10	5%
CV_1%O		1,29	7%
CNHL_0%O		0,68	6%
CNHL_1%O		0,69	4%
CH_0%O	28	1,00	5%
CH_1%O		0,98	17%
CV_0%O		1,33	2%
CV_1%O		1,52	2%
CNHL_0%O		0,74	8%
CNHL_1%O		0,76	1%
CH_0%O	90	1,05	7%
CH_1%O		0,93	11%
CV_0%O		1,53	10%
CV_1%O		2,43	8%
CNHL_0%O		0,45	20%
CNHL_1%O		0,69	14%

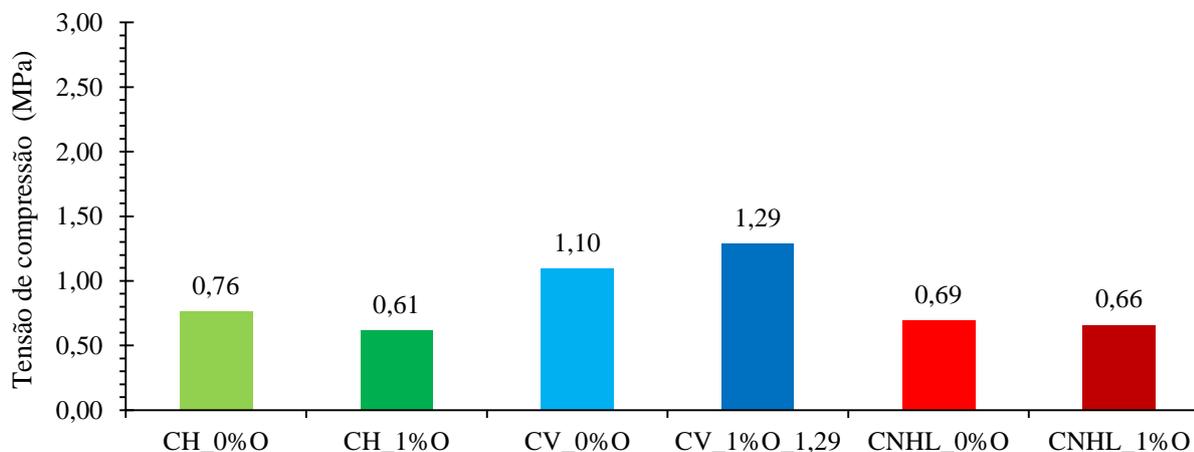


Figura 55 – Tensão de compressão (MPa) aos 14 dias

Como é analisado na Figura 55, as argamassas de cal viva obtêm maiores resistências, sendo que a composição que contém óleo tem uma tensão ligeiramente maior.

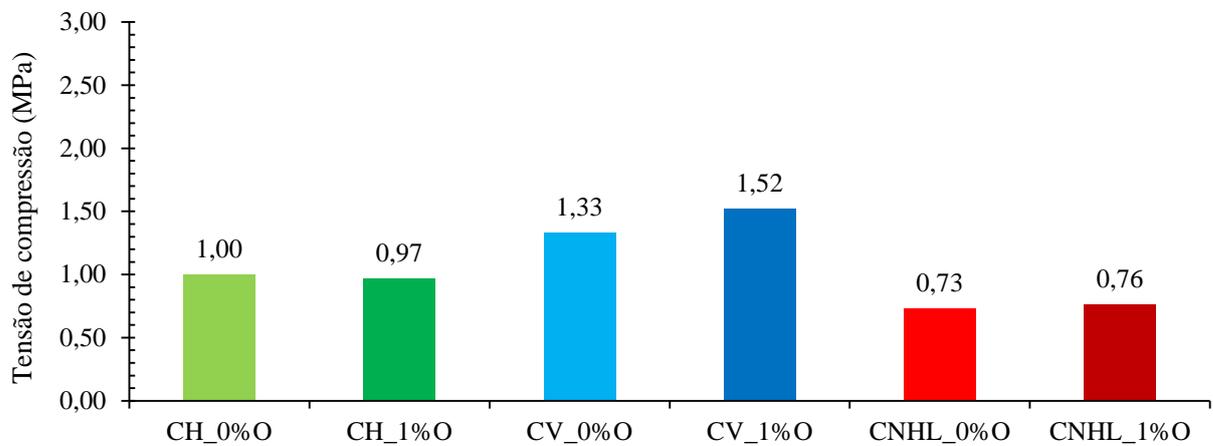


Figura 56 – Tensão de compressão (MPa) aos 28 dias

Aos 28 dias as resistências de todas as composições aumentaram, e tal como aos 14 dias a argamassa de cal viva teve a melhor resistência. E, tal como já foi referido, nesta idade a norma (NP EN 998-1, 2010) estabelece o valor mínimo de 0,4 MPa e como mostra a Figura 56 esse valor é verificado em todas as composições testadas.

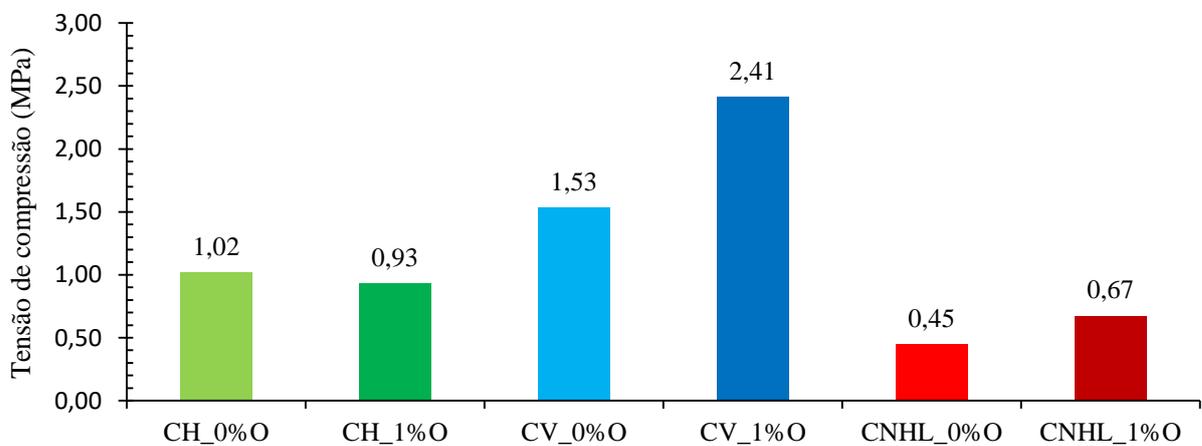


Figura 57 – Tensão de compressão (MPa) aos 90 dias

Por fim aos 90 dias a argamassa de cal viva manteve-se com a melhor resistência à compressão e, tal como sucede na resistência à flexão, a melhor composição foi a argamassa de cal viva com o aditivo e a argamassa de cal hidráulica natural a menos resistente.

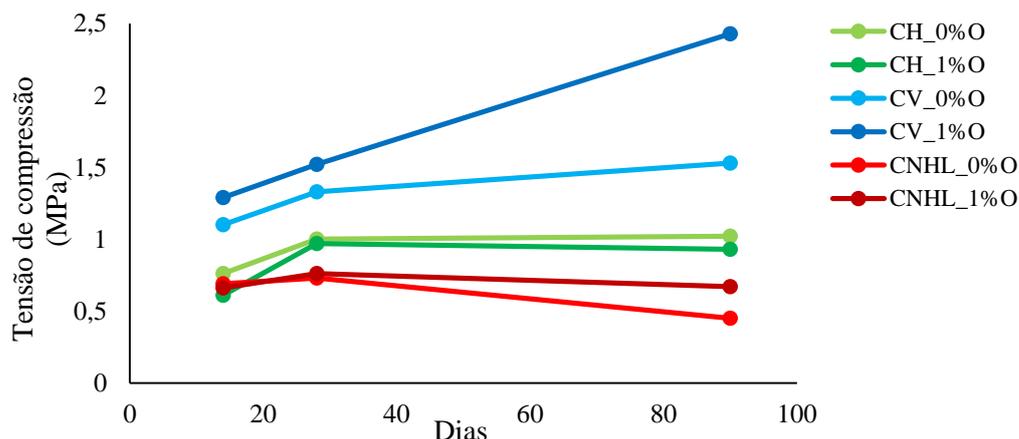


Figura 58 – Resumo das tensões de compressão aos 14, 28 e 90 dias

Assim, tal como era esperado, perante os resultados da resistência à compressão, a argamassa de cal viva (com e sem óleo) adquiriram um melhor desempenho. Verificando-se, também, que as resistências da argamassa de cal viva com óleo poderão continuar a aumentar após os 90 dias

5.2.3. Absorção de água por capilaridade

Foram efetuados ensaios aos 28 e 90 dias, na Figura 59 e Figura 60 estão apresentados os valores do coeficiente de capilaridade.

É possível analisar que, em ambas as idades, as argamassas com óleo tem muito melhor desempenho e que dentro das diferentes cais estudadas a argamassa de cal viva obtém um melhor desempenho, ou seja, com menor absorção de água por capilaridade.

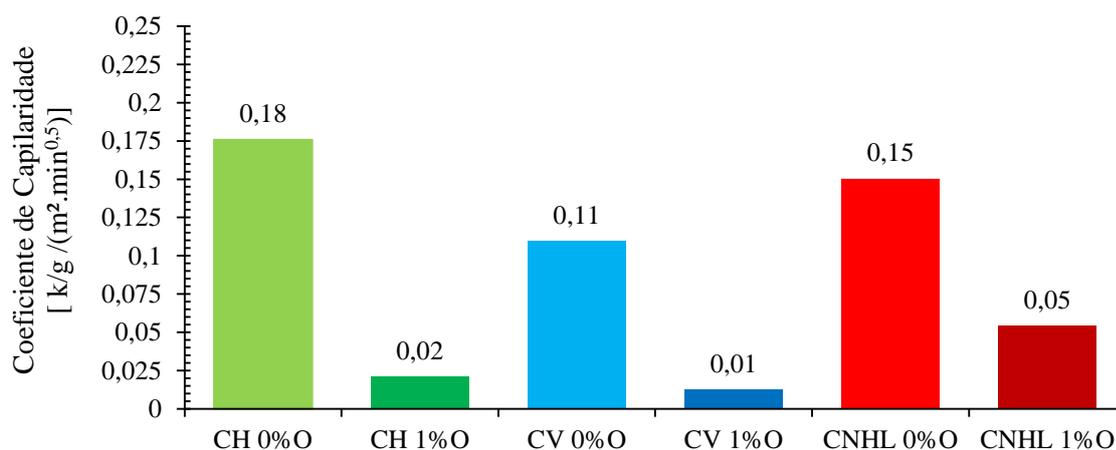


Figura 59 – Coeficiente de Capilaridade (kg/(m².min^{0,5})) aos 28 dias

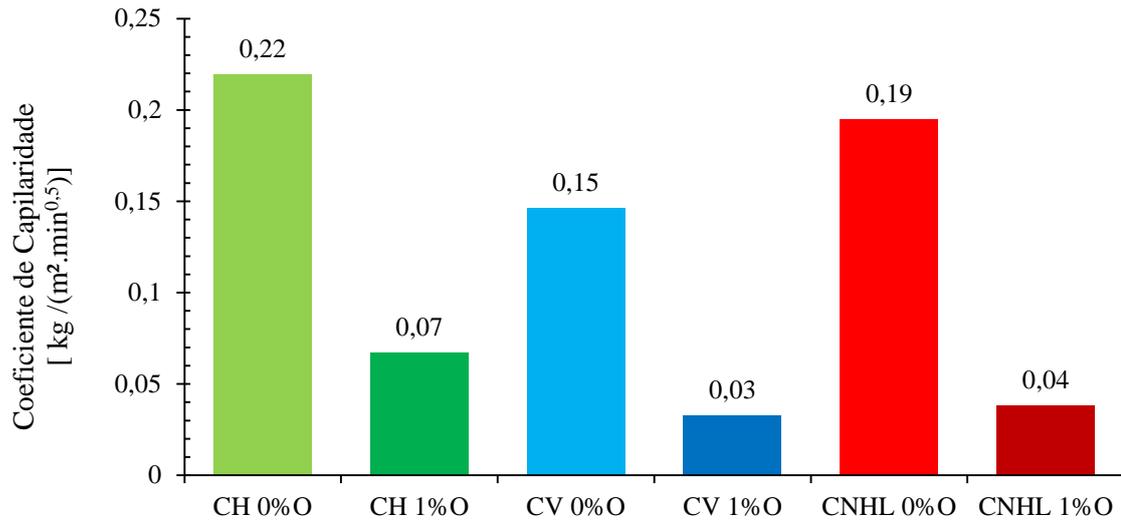


Figura 60 – Coeficiente de Capilaridade (kg/(m².min^{0,5})) aos 90 dias

Por fim, a norma (NP EN 998-1, 2010) estabelece um valor máximo para o coeficiente de capilaridade aos 28 dias de 0,4 kg/(m².min^{0,5}), verificando-se que esse valor é cumprido em todas as composições estudadas.

5.2.4. Absorção de água por imersão

Este ensaio permite determinar a porosidade aberta no estado endurecido das argamassas. Este ensaio foi realizado, tal como o da absorção por capilaridade, aos 28 e 90 dias.

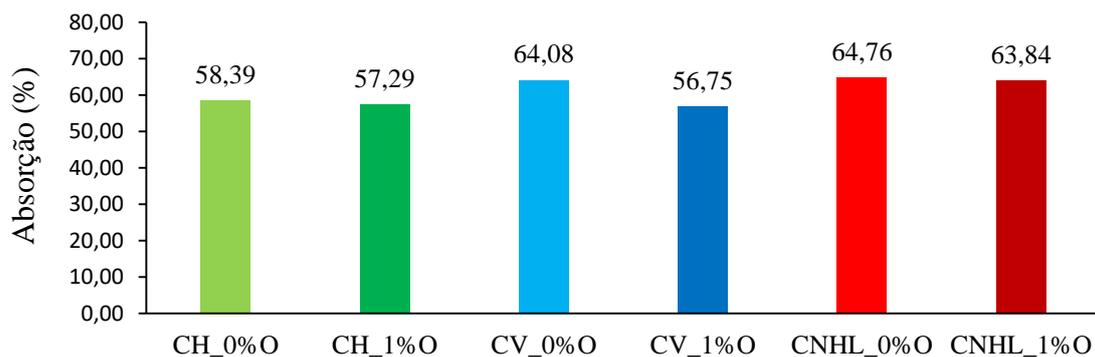


Figura 61 – Absorção por imersão aos 28 dias

Na Figura 61 apresentam-se os valores de absorção aos 28 dias. A argamassa de cal hidráulica natural obteve uma maior absorção, enquanto a argamassa de cal viva sem óleo foi a que evidenciou uma menor absorção.

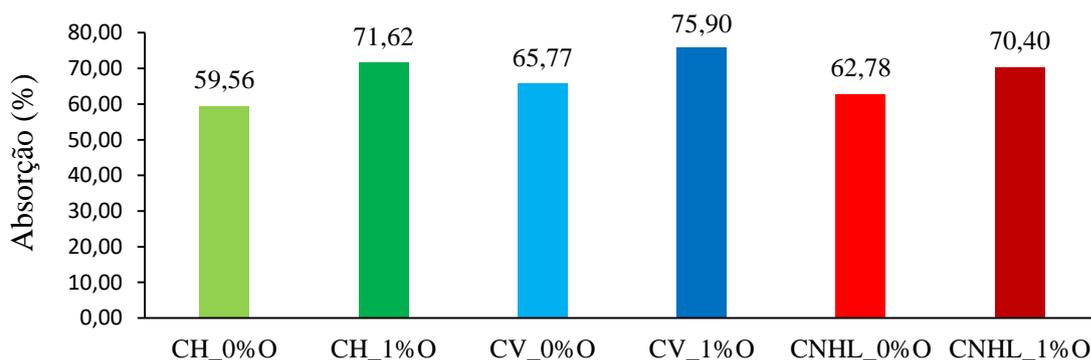


Figura 62 – Absorção por imersão aos 90 dias

Aos 90 dias, como mostra a Figura 62, a argamassa de cal viva com óleo foi a que teve um maior aumento de absorção e a argamassa de cal hidráulica natural (com e sem óleo) obteve aproximadamente o mesmo resultado.

Tabela 18 – Absorção por imersão (%)

Mistura	28 Dias	90 Dias
CH_0%O	58,39	59,56
CH_1%O	57,29	71,62
CV_0%O	64,08	65,77
CV_1%O	56,75	75,90
CNHL_0%O	64,76	62,78
CNHL_1%O	63,84	70,40

Por fim, a tabela 18 mostra o resumo dos resultados de uma forma mais simplificada para poder analisar que neste ensaio os resultados não foram coerentes. Terá uma justificação mais pormenorizada no próximo capítulo.

5.2.5. Ultrassons

O ensaio de propagação dos ultrassons foi realizado pelo método direto e indireto. Na Figura 63 e Figura 64 são apresentados os resultados obtidos.

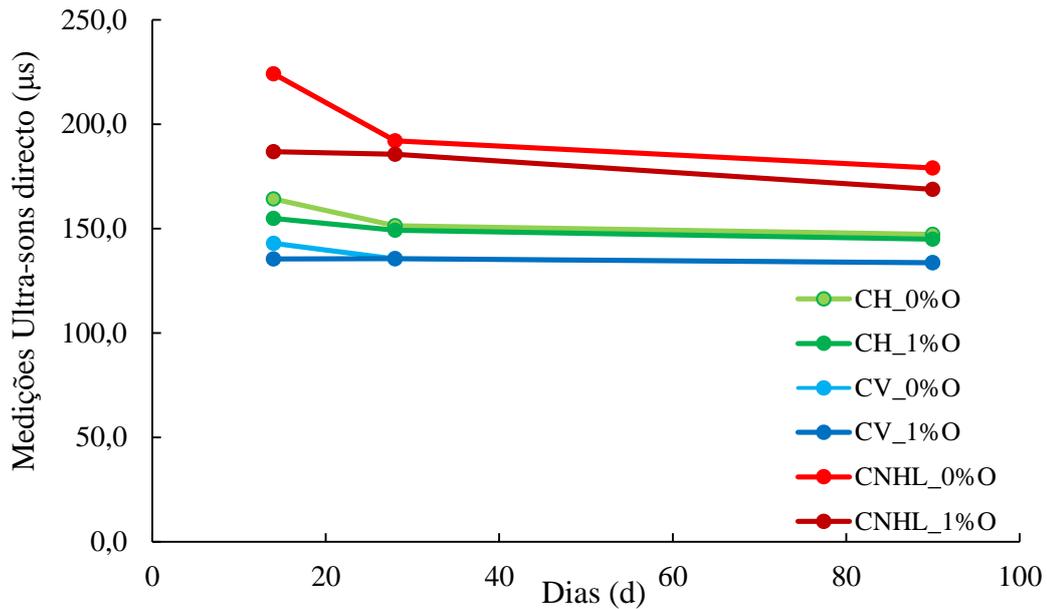


Figura 63 – Medições ultrassons no método directo

Como ilustra o gráfico as argamassas sem aditivo (óleo) tem um tempo de propagação maior, tendo piores resultados a argamassa de cal hidráulica. A justificação deste resultado pode-se basear nos ensaios de tração por flexão e compressão, em que este tipo de cal também obteve piores resultados.

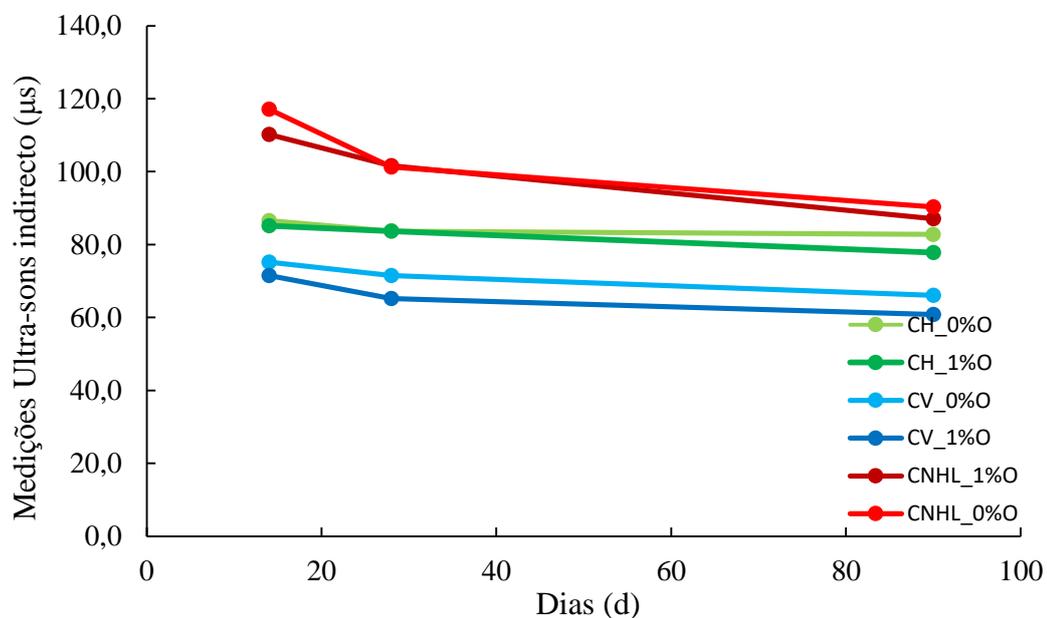


Figura 64 – Medições ultrassons no método indirecto

No método indirecto os resultados foram iguais ao método directo, o que reforça a teoria acima descrita.

5.2.6. Permeabilidade ao vapor de água

Pela análise do gráfico da Figura 65, constata-se que a argamassa de cal viva com óleo é bastante menos permeável ao vapor de água do que sem óleo.

Tabela 19 – Resultados obtidos

	CV 0%O	CV 1%O
$\pi \times 10^{12}$	12,964	6,155
Sd	0,033	0,235
μ	2,18	15,66

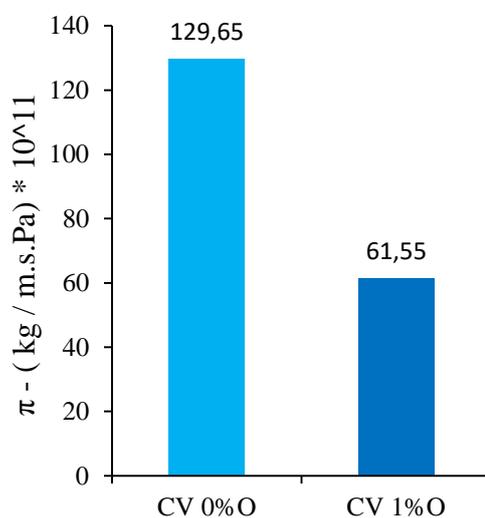


Figura 65. – Permeabilidade ao vapor de água

Na Tabela 20, adaptada de Eires (2012), mostram-se alguns valores da permeabilidade ao vapor de água de materiais que podem ser comparados com as argamassas em estudo (argamassas de cal com solo).

Tabela 20 - Coeficientes de permeabilidade ao vapor de água

Materiais de construção	Valores médios de π ($\text{kg}/\text{m.s.Pa}) \times 10^{12}$
Argamassa à base de cal	16,75
Argamassa à base de cimento	9,75
Gesso cartonado	25,5
Reboco de gesso	27,5
Alvenaria de tijolo vazado	52

Pela Tabela 20 podemos verificar que, em comparação com outros materiais de construção, há uma grande diferença de valores, tendo as argamassas de terra e cal um coeficiente de permeabilidade bastante maior. Mas ao comparar a argamassa com óleo e a alvenaria de tijolo vazado, bastante usado na construção civil, os seus desempenhos são equivalentes.

Segundo um estudo de Faria e Santos (2014), onde realizaram em provetes só com terra, a espessura da camada de ar de difusão equivalente, S_d , teve um valor de aproximadamente 0,14 m e uma resistência ao vapor de água, μ , de 7. Há uma grande diferença entre os provetes com terra e as argamassas estudadas neste ensaio. Com óleo a resistência ao vapor de água é o dobro da resistência em comparação com os provetes de terra, o que não acontece na argamassa com apenas cal viva, em que a resistência é muito mais baixa.

5.3. Ensaio a painéis de tabique

5.3.1. Erosão acelerada por jato de água para simulação de chuva

No ensaio de erosão verificou-se que não foi realizado pela forma mais correta, para este tipo de material. Tal como já foi referido o bloco para o ensaio esteve na estufa 12 horas entre os ciclos de molhagem, e não se teve em conta a verificação durante a secagem na estufa se a massa era constante, tal como consta na norma EN 1015-18, 2002, ou seja não houve pesagens de duas em duas horas para verificar se a massa era constante ($\leq 0,2\%$).

Durante as pesagens mesmo sendo visível a perda de massa como mostram nas Figura 66, Figura 67, Figura 68, Figura 69, Figura 70, o seu peso aumentava devido ao facto de não estar totalmente seco no seu interior. Na Tabela 21 os resultados obtidos das pesagens, quando os blocos ficavam arrefecidos, após estarem 12 horas na estufa.

Tabela 21 - Resultado das pesagens durante os ciclos

Mistura	Percentagem de massa perdida (%)	
	1º Ciclo	2º Ciclo
Cal viva	0,14	-0,12
Cal viva + óleo	0,27	-0,28
Cal viva + sisal	0,24	0,27
Cal viva + sisal + cânhamo	0,27	-0,19
Cal viva + Rede de polipropileno	0,06	0,03

As fotografias apresentadas mostram o bloco para cada tipo de composição estudada para o tabique em três fases: a primeira antes do 1º ciclo de chuva, a segunda foto no fim do 1º ciclo chuva e por fim a terceira é o fim do 2º ciclo de chuva.

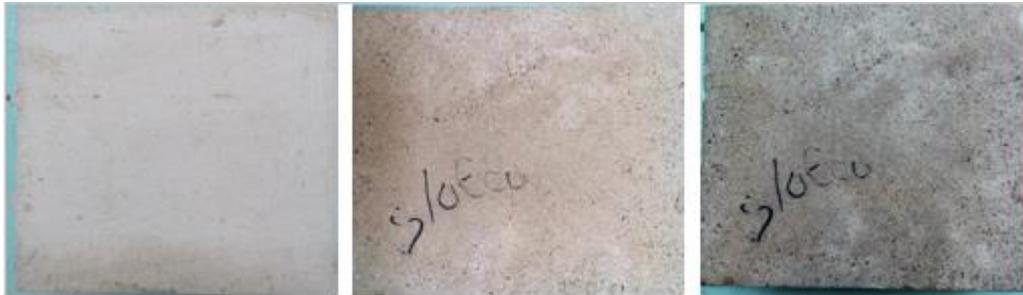


Figura 66 – Bloco para o ensaio de erosão – Composição: sem óleo



Figura 67 – Bloco para o ensaio de erosão – Composição: com óleo



Figura 68 – Bloco para o ensaio de erosão – Composição: com sisal



Figura 69 – Bloco para o ensaio de erosão – Composição: sisal + cânhamo



Figura 70 – Bloco para o ensaio de erosão – Composição: Rede de polipropileno

Numa breve conclusão, através das fotografias retiradas, a pior composição foi a com fibras de sisal. O bloco teve uma erosão bastante acentuada. Ao passar com as mãos as fibras saíam com facilidade, notava-se que não havia muita aderência entre a argamassa e as fibras.

As composições sem e com óleo sofreram pouco desgaste, sendo pouco visível.

A rede de polipropileno foi colocada a meio do bloco, mas deveria encontrar-se mais à superfície (cerca de 1 cm da superfície). Por isso, justifica o facto de também ter sofrido alguma erosão, mas não tão acentuada como o sisal.

Por fim o aumento de massa é devido à água que o provete absorveu. Mas, se o provete tivesse sido mais seco talvez absorvesse mais. O estudo poderia ter sido realizado com o provete saturado, assim, a diferença de massa deveria ter sido por desagregação/degradação do material.

5.3.2. Ensaio de absorção de água com tubo de Karsten

Para este ensaio com tubos de Karsten foi colocado um cachimbo em duas secções: um entre as ripas e outro em cima das ripas. O comportamento das duas secções é bastante diferente. Entre as ripas tem mais argamassa do que em cima das ripas. Por esse motivo optou-se por fazer

as duas medições. Nas figuras 71, 72, 73, 74 e 75 mostra-se como foram colocados os cachimbos em cada composição e os respectivos diâmetros obtidos no fim do ensaio.

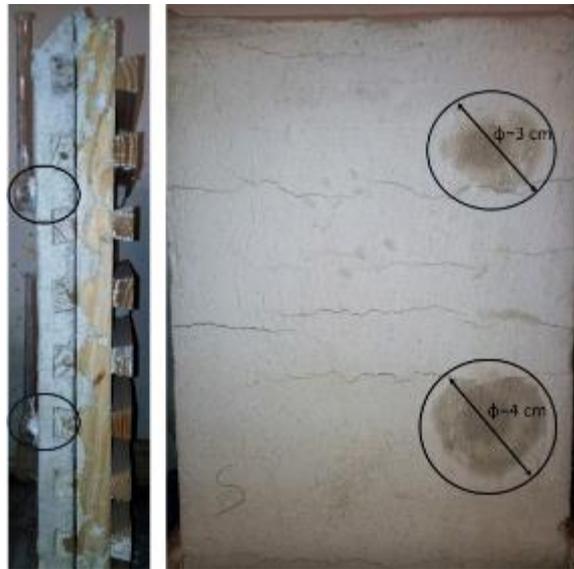


Figura 71 – Composição: sem óleo



Figura 72 – Composição: com óleo



Figura 73 – Composição: sisal



Figura 74 – Composição: sisal + cânhamo

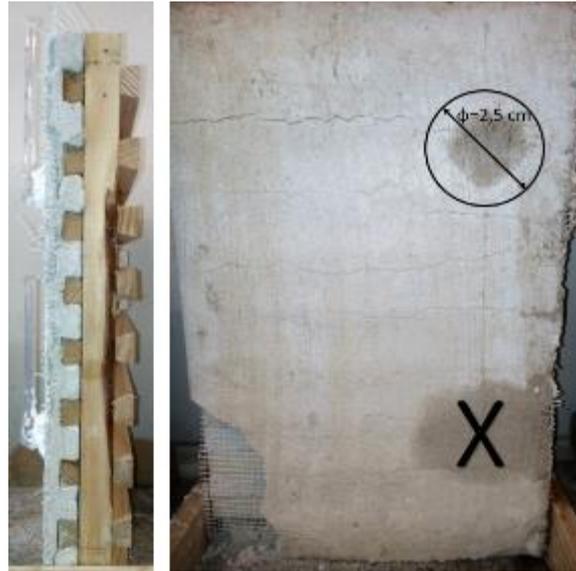


Figura 75 – Composição: com rede de polipropileno

Em seguida na Tabela 22 e na Figura 76 expõem-se os resultados obtidos:

Tabela 22 – Resultados obtidos no Ensaio de Karsten ao fim de 180 minutos

	Volume total de água absorvida (ml)	
	Entre Ripas	Em cima da Ripa
Sem óleo	8	16,4
Com óleo	0,77	1,10
Sisal	12,65	8,95
Sisal + cânhamo	6,45	33,5
Rede de polipropileno	-	6,4

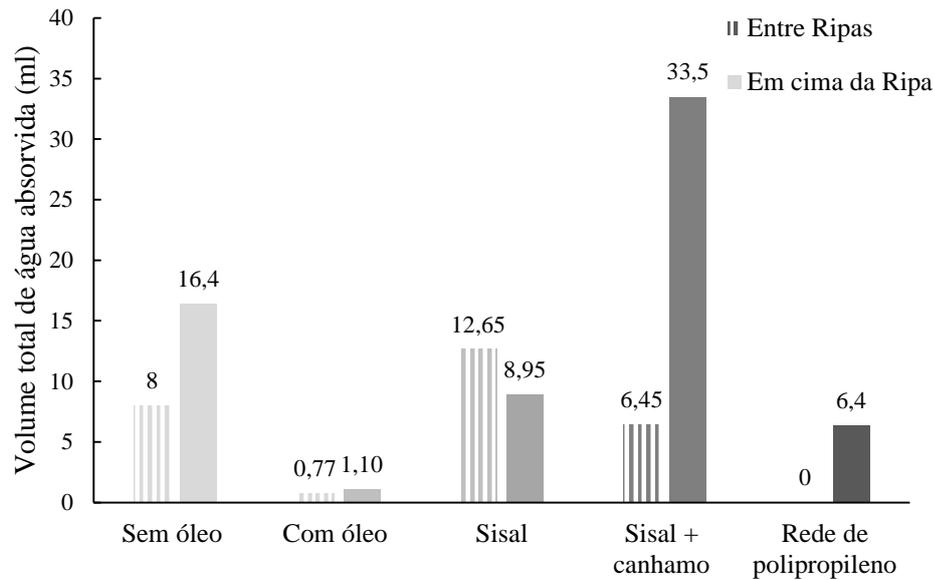


Figura 76 – Gráfico dos Resultados obtidos

Como mostra o gráfico da Figura 76 apenas a composição com sisal teve maior absorção de água entre ripas. Todas as outras em cima da ripa absorveram mais água.

A composição com maior absorção foi a com sisal e cânhamo, talvez pelo facto das fibras e principalmente o cânhamo terem a capacidade de absorver muita quantidade de água. A Figura 77 mostra como a água se infiltrou em profundidade e até ao ripado.



Figura 77 – Fim do ensaio de Karsten na composição sisal + cânhamo entre o ripado

Com a composição com a rede de polipropileno, como já foi referido em 5.3.1, a rede deveria ter sido posicionada a 1 cm da superfície ou seja no meio da argamassa e do ripado. No entanto, foi colocada junto ao ripado de madeira. Durante o ensaio a adesão entre a argamassa e as ripas foi comprometida devido à água do ensaio e a argamassa descolou do ripado de madeira como

mostra a Figura 78, o que impossibilitou o registo da absorção de água entre as ripas. A Figura 79 também mostra que com esta composição e estando a rede mal posicionada criaram-se fissuras em cima das ripas, o que também foi outro fator para que houvesse maior absorção da água do ensaio e, por consequência, o destacamento da argamassa.



Figura 78- Problemas com a introdução da rede de polipropileno

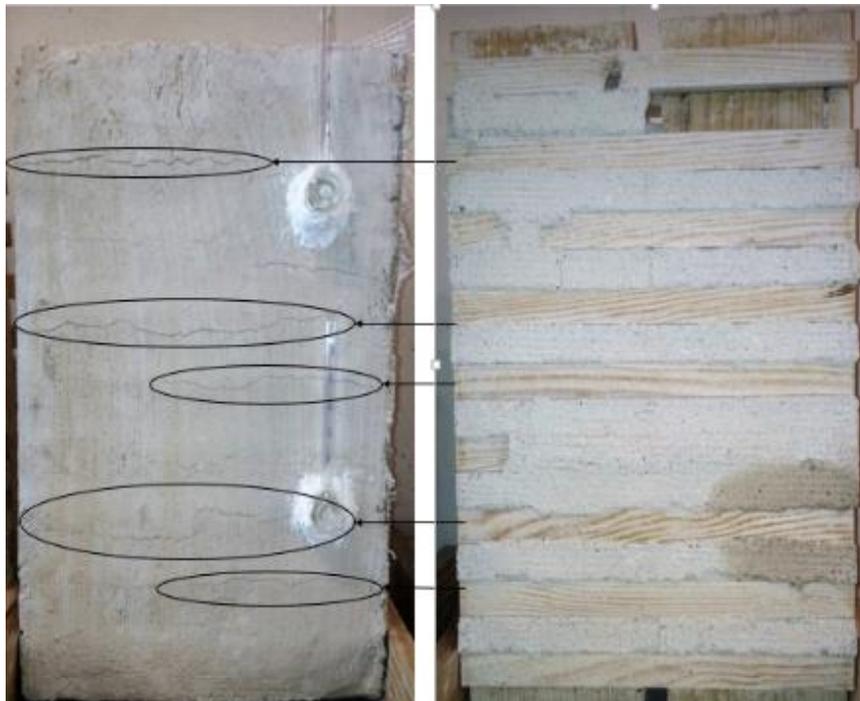


Figura 79 – Fissuras no painel de tabique com rede de polipropileno

Por fim, a composição com melhor desempenho foi a argamassa em que foi introduzido óleo, tendo uma percentagem bastante baixa de absorção, podendo ser considerada quase como inexistente quando comparada com as restantes.

5.3.3. Ensaio de aderência ao suporte

Como já foi referido no capítulo 4.7.3, foi determinado o arrancamento em todos os painéis e em dois locais distintos de cada painel: sobre uma ripa e outra entre as ripas. Nas figuras 80 a 83 apresentam-se as disposições das pastilhas em cada painel de cada composição.

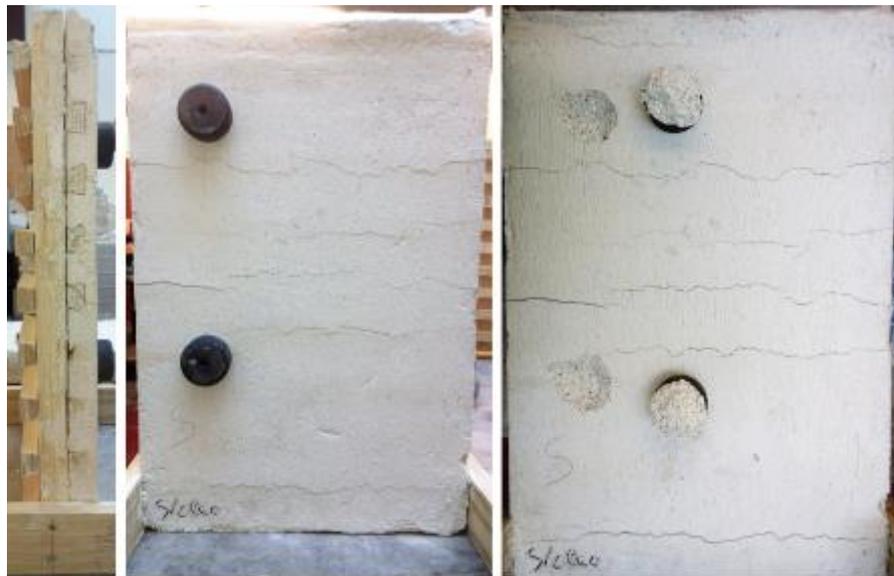


Figura 80 – Composição: sem óleo

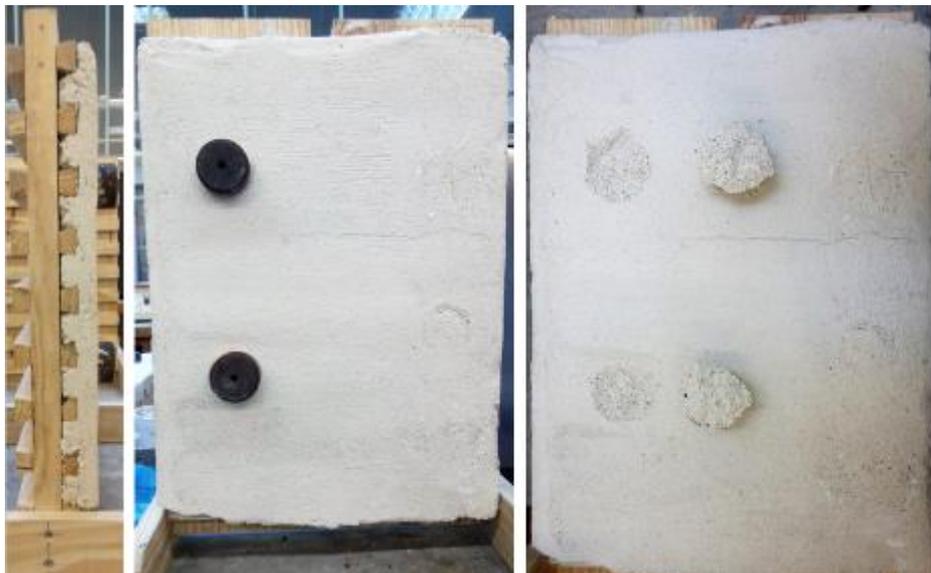


Figura 81 – Composição: com óleo

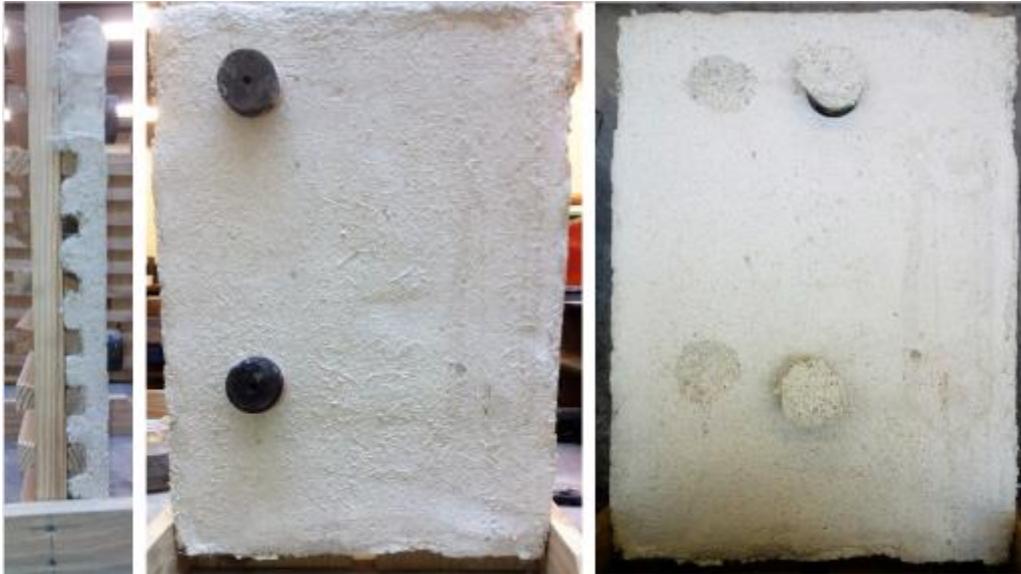


Figura 82 – Composição: sisal



Figura 83 – Composição: sisal + cânhamo

Como é visto nas figuras a rotura segundo a norma (EN 1015 - 12, 2000) é adesiva, em ambos os casos, tanto sobre a ripa como entre ripas e em todas as composições.

Em seguida o gráfico da Figura 84 apresenta os valores obtidos no ensaio de aderência ao suporte

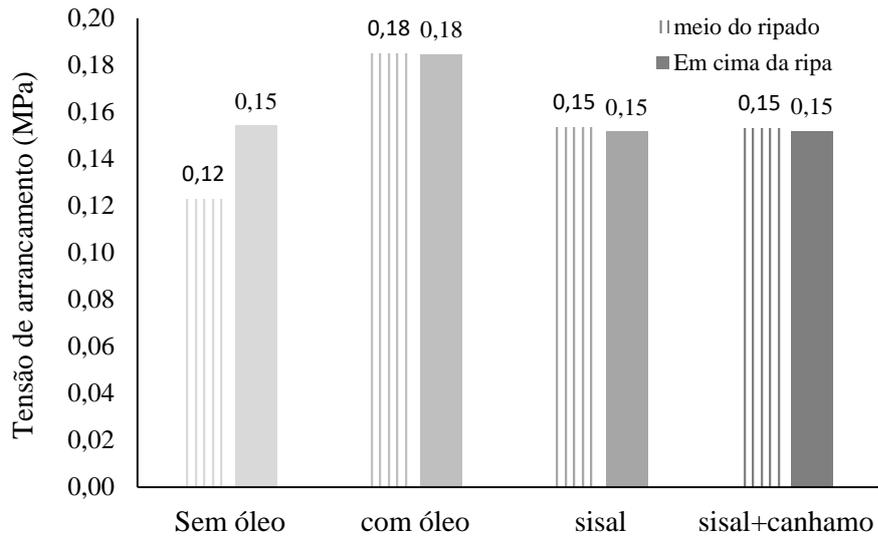


Figura 84 – Gráfico dos Resultados obtidos

Pelo gráfico é visível que não existe uma grande diferença de valores, todas as composições obtiveram aproximadamente a mesma tensão de arrancamento. Embora a composição com óleo tenha um valor ligeiramente superior.

5.4. Fissuração

Foram observadas as fissuras em cada painel, uma das grandes preocupações em argamassas de enchimento.



Sem óleo



Com rede de polipropileno



Com óleo



Sisal



Sisal + Cânhamo

Figura 85 – Fissurações nos painéis

Os painéis com fissuras mais acentuadas foram os que continham as composições: cal viva e apenas solo, e cal viva com rede de polipropileno. Na Figura 79 é bastante visível que as fissuras estão localizadas sobretudo em cima das ripas. Ao longo do ensaio de Karsten a água do ensaio ajudou a que houvesse um destacamento da argamassa do suporte. O que potenciou este fenómeno foi a má localização da rede, porém permitiu verificar onde se situavam as fissuras com maior gravidade.

Nas restantes composições, principalmente as que continham fibras, não se observaram fissuras. A composição com óleo apenas apresentou uma pequena fissura, que se pode desprezar.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

6.1. Ensaio das argamassas no estado endurecido

As argamassas devem ter a capacidade de resistir aos esforços mecânicos atuantes e o seu desempenho depende da dosagem e tipo de ligante, agregados e técnica de execução. Com o aumento da dosagem de ligante a sua resistência também aumenta. Mas o objetivo deste estudo é investigar argamassas com uma percentagem de ligante razoavelmente baixo e com matérias-primas amigas do ambiente, para que haja a possibilidade de utilização de uma forma mais sustentável. Pretende-se, ao mesmo tempo, que a argamassa desempenhe bem o seu papel, tanto a nível de reparação, como de substituição integral ou parcial, ou até mesmo para integrar construções de edifícios novos.

A capacidade de resistir aos esforços mecânicos é importante para um adequado desempenho, uma maior resistência à tração influencia certamente a capacidade de não fissuração. Assim, a avaliação das resistências à compressão e à tração por flexão tornam-se indispensáveis, pois o não cumprimento destas características mecânicas pode conduzir ao aparecimento de anomalias, que por sua vez vão afetar o seu desempenho em serviço. As anomalias mais comuns causadas pela falha das características mecânicas mencionadas anteriormente são a fendilhação e as perdas de aderência.

As argamassas de cimento são significativamente mais resistentes tanto à flexão como à compressão comparativamente com as de cal hidráulica ou cal aérea, mas além do cimento ser um produto com maior emissão de CO₂ do que as cals, se se tratar de uma argamassa de substituição em paredes antigas, estas parecem não ser as mais adequadas (Veiga, 2003).

Analisando os resultados obtidos é de reforçar que as resistências à compressão, como foi dito anteriormente, cumprem a norma NP EN 998-1, 2010. Ao fazer uma pequena comparação com a Tabela 4 – Ensaio de resistência e de durabilidade no capítulo referente a estudos realizados na bibliografia encontrada, as argamassas encontram-se na mesma gama de resistências.

A cal hidráulica natural apresenta resistências mecânicas bastante satisfatórias, mas é um material de características muito variáveis exigindo uma escolha criteriosa. Por sua vez a cal viva tanto com óleo como sem óleo permitiu alcançar os melhores resultados, tal como era esperado, devido à sua maior percentagem de óxido de cálcio (Rodrigues, 2004).

A utilização dos ultrassons é de utilização generalizada para avaliação da qualidade em peças de betão. Porém, recentemente tem sido aplicada a outros materiais como a madeira, cerâmicos, pedra ou metal e utilizada no diagnóstico de revestimento de paredes principalmente para deteção de zonas degradadas (Gonçalves, 2010). Em ambiente laboratorial a técnica dos ultrassons é utilizada essencialmente para estimativa da resistência do material ensaiado e avaliação das suas propriedades mecânicas.

A estimativa da resistência do material ensaiado fundamenta-se no princípio de que materiais mais compactos apresentam velocidades de propagação das ondas menores e valores de resistência mais elevados. Contudo, devido aos fatores que influenciam a técnica, nem sempre é possível estabelecer uma relação.

Nos ensaios realizados houve um grande coeficiente de variação em todas as composições, por esse motivo este ensaio não foi dado grande peso, apenas serviu para reforçar os dados obtidos dos ensaios de resistência à flexão e à compressão. Analisando os resultados obtidos nos três ensaios de todas as composições e ao longo dos dias de ensaio observamos que foram praticamente equivalentes. Ou seja, a cal hidráulica apresentou valores de tempos de propagação superiores o que indica que tem uma resistência mais baixa e por sua vez a cal viva valores inferiores, ou seja valores de resistência mais altos. Há que salientar que todas as argamassas com óleo tiveram valores inferiores aos das argamassas sem óleo o que indica que a porosidade das argamassas com óleo é menor do que nas sem óleo.

Os ensaios de durabilidade foram exprimidos através do desempenho das argamassas à água, que é das ações que mais origina e agrava anomalias. A passagem da água para o interior das argamassas pode dar-se por infiltração, capilaridade ou difusão do vapor de água. Para que estes resistam à penetração de água é importantes avaliar algumas características de desempenho como o coeficiente de capilaridade e a permeabilidade ao vapor de água.

O coeficiente de capilaridade manifesta-se na capacidade qua a argamassa possui em absorver a água sem pressão, mas sim através de forças capilares. É literalmente a velocidade da massa de água que consegue penetrar nos poros por unidade de área de material. Também a norma (NP EN 998-1, 2010) estabelece um valor máximo para o coeficiente de capilaridade, em que nos resultados obtidos das composições estudadas todas estão dentro desse valor. É de notar que ao usar cal e solo as argamassas com apenas um dia subtidas ao ensaio de absorção por

capilaridade estabilizavam, pois a sua porosidade é muito superior ao da argamassa de cimento, por exemplo.

Em relação à permeabilidade do vapor de água, quanto maior for, mais facilidade o revestimento terá na sua secagem e permite a saída do vapor de água, produzido no interior dos edifícios, para o exterior (Gonçalves, 2010). Segundo estudos realizados no LNEC e citados por (Veiga, 1998) as argamassas que aparentam ser menos permeáveis ao vapor de água são aquelas com alto teor de cimento ou constituídas por areia muito argilosa. Também refere que os rebocos não tradicionais apresentam valores elevados de permeabilidades ao vapor de água devido a uma porosidade elevada.

Os resultados obtidos neste ensaio foram bastante altos comparados com outro tipo de materiais citados no capítulo 5.2.6, o que reforça a noção que as argamassas que foram estudadas tem uma elevada porosidade.

As argamassas de cal aérea apresentam uma elevada porosidade, sendo que esta característica é importante devido à carbonatação que requer a introdução de dióxido de carbono no interior da argamassa para o seu endurecimento (Rodrigues, 2004). A cal hidráulica tanto consegue adquirir presa em água como exposta ao CO₂, portanto era esperado que obtivesse melhores resultados na absorção por imersão em água, mas não foi esse o resultado. Este tipo de cal conseguiu absorver mais água do que as cals aéreas (viva e hidratada) utilizadas.

6.2. Ensaio nos blocos e painéis de tabique

No trabalho experimental da presente dissertação tentou seguir-se o artigo realizado por Resende (2015) sobre erosão face à acção da chuva, em que se avalia a perda de massa por unidade de área. Mas, como já foi referido, a experiência falhou, os provetes não foram suficientemente secos e acabaram por ganhar massa (os vazios não secaram totalmente) e era visível a profundidade do desgaste. Perante o sucedido foi avaliado o desgaste visualmente e as argamassas que levaram as fibras foram as que sofreram um maior desgaste. Contudo, há que referir que o provete onde levou a rede de polipropileno, se a rede se encontrasse mais à superfície o desgaste poderia baixar. Todos os outros provetes obtiveram pouco desgaste e é possível afirmar que o desgaste foi praticamente inexistente.

O ensaio de absorção de água com tubo de *Karsten* avalia a capacidade de absorção de água do material em questão, através da medição do volume absorvido, numa determinada área da superfície e durante um intervalo de tempo.

O ensaio teve como objetivo a avaliação da absorção de água apenas em zona não fissurada. Como tal, na presença de tais anomalias os resultados são influenciados, mas não foram contabilizados. Mas foi visível que na presença de fissuras, como por exemplo no painel que levou rede de polipropileno, não foi possível medir a capacidade de absorção, porque a água penetrou pelas fissuras e destacou a argamassa do suporte de madeira. Contudo, destacou-se pela positiva a argamassa em que foi adicionada apenas óleo, cuja absorção foi mínima, comparando com as restantes composições. Tal facto era esperado, visto que este tipo de composição teve um bom comportamento a nível de absorção por capilaridade.

A aderência ao suporte é condicionante tanto para o cumprimento das funções de impermeabilização como para a durabilidade. Para além do facto de influenciar a resistência à fendilhação, uma vez que condiciona a distribuição de tensões na argamassa (Veiga, 1998).

Nos ensaios realizados os valores da tensão superficial apresentaram valores aproximadamente 0.15 MPa nas composições estudadas. O que segundo Veiga, na Tabela 3, exposta no capítulo 3.1, está dentro dos limites aceitáveis, apesar de serem baixos.

7. CONCLUSÕES

As argamassas têm um papel relevante na durabilidade e na imagem dos edifícios. Assim, a sua conservação e reparação são decisivas para a preservação do Património construído. A conservação dos edifícios antigos, sejam eles monumentos ou edifícios correntes, que contribuem para manter o carácter dos centros urbanos e dos bairros históricos, exige conhecimentos diversificados.

Assim, com este estudo que incidu sobre o solo como agregado, a sua influência na estrutura porosa e, conseqüentemente, nas características de resistência e durabilidade das argamassas de cal aérea e hidráulica natural, foi possível obter um maior conhecimento sobre uma área que se deve tornar ainda mais importante nos próximos anos. Assim, como consequência, também será possível recorrer, como foi dito inicialmente, à reabilitação das paredes de tabique e não à sua remoção.

As argamassas estudadas apresentam um bom comportamento tanto mecânico como a nível de durabilidade. A cal viva que nas várias idades nos ensaios de resistência e de durabilidade obteve sempre o melhor desempenho. Nota-se que ao adicionar o óleo de vegetal, impulsionou esse comportamento e é de reforçar que a cal viva, como era esperado, tendo em conta alguns autores (Rodrigues, 2004) e devido ao maior teor em de óxido de cálcio na sua constituição, obteve o melhor desempenho. Quanto à adição de fibras, pelos estudos feitos, não houve grandes alterações, mas salienta-se que houve uma carência de estudos a nível de resistências mecânicas e de durabilidade através de ensaios com provetes.

Quanto à sustentabilidade, as argamassas com terra e cal como ligante, quando comparadas com as argamassas convencionais de cimento e areia permitem reduzir o consumo de energia na sua produção, ou seja contribuem para a sustentabilidade da indústria da construção.

7.1. Trabalhos futuros

Relativamente aos trabalhos futuros, recomendam-se o seguinte para futura investigação:

- Com as outras misturas de fibras, realizar testes de resistência e durabilidade;
- Repetir ensaios de erosão acelerada por jato de água, absorção de água com tubo de Karsten e aderência ao suporte com a rede de polipropileno devidamente colocada a 1 cm da superfície;

- Avaliação da resistência das argamassas estudadas face à ação de sais solúveis e aos ciclos de gelo-degelo;
- Comparação das argamassas realizadas com argamassas similares, mas com areias com outra granulometria; e
- Realização de argamassas com outros aditivos (Exemplo: pozolanas)
- Fazer um estudo apenas voltado para o bom funcionamento do óleo ao longo do tempo, englobando ensaios cíclicos de secagem molhagem para verificar se o óleo se vai perdendo por evaporação

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Botas, S. (2009). *Avaliação Do Comportamento De Argamassas Em Climas Frios*. Dissertação de mestrado de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa
- Branco, F. C. (1996). II JORNADAS DA INDÚSTRIA MINERAL PORTUGUESA LISBOA, 11 E 12 DE ABRIL DE 1996.
- Cardoso, R. (2013). *Construção de tabique—construção sustentável*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, UTAD.
- Cardoso, R. J. S. (2013). *Caracterização da construção em tabique de Lamego e Alto Douro*. Dissertação de mestrado de Engenharia Civil, UTAD. Vila Real.
- Carvalho, J. M. P. P. de. (2009). *Construções em tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro*. Dissertação de mestrado de Engenharia Civil, UTAD. Vila Real.
- Cepeda, A. J. B. (2009). *Construções De Tabique Existentes Na Associação De Municípios Do Alto Tâmega*. Dissertação de mestrado de Engenharia Civil, UTAD. Vila Real.
- Coelho, A. Z., Pacheco, T. F., & Said, J. (2009). *A Cal na Construção*. Livro. Universidade do Minho. Guimarães.
- Coutinho, J. D. S. (2002). *Materiais de construção 2 - Apoio às aulas Práticas*. FEUP. Porto.
- Coutinho, J. de S. (2002). *Materiais De Construção 2 - Apoio Às Aulas Práticas*. FEUP. Porto.
- Dias, I. M. (2013). *Desenvolvimento e caracterização de argamassas de cal aérea e terra*. Dissertação de mestrado de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Domingues, F. (2014). *Caraterização do comportamento estrutural de paredes de tabique*. Dissertação de mestrado de Engenharia Civil, Instituto Politécnico de Viseu Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu.
- E 394. (1993). Determinação da absorção por imersão. LNEC-Laboratorio Nacional de Engenharia Civil.
- Eires, R. (2012). *Construção em terra: Desempenho melhorado com incorporação de biopolímeros*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho. Guimarães.
- Eires, R. (2014). *Argamassas de terra e cal reforçadas com fibras naturais*. Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, Guimarães, Portugal.

- EN 1015-7. (1999). Methods of test for mortar for masonry. Determination of air content of fresh mortar. BSI.
- EN 1015-11. (1999). Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar.
- EN 1015-18. (2002). Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar.
- EN 1015-3. (1999). Consistence of fresh mortar.
- EN 1015-3. (2004). Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table).
- EN 1015 - 12. (2000). Methods of test for mortar for masonry - Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates.
- Ferretti, M. (2009). Princípios e aplicações de espectroscopia de fluorescência de Raios X (FRX) com instrumentação portátil para estudo de bens culturais.
- Frazão, C. M. V, & Gonçalves, D. M. F. (2014). *Caraterização Experimental das propriedades de durabilidade de argamassas de base cimentícia reforçada com fibras sintéticas*. Relatório, Universidade do Minho, Campus de Azurém. Guimarães.
- Glossário | lhist - Minerais e produtor de cal. Disponível em: www.lhoist.com. Acedido em Agosto 20o16
- Gomes, M. I. (2012). *Análise experimental de argamassas de terra com cais e fibras naturais*. In *4.º Congresso Português de Argamassas e ETICS - Sob a égide da inovação*, Lisboa.
- Gonçalves, A. E. N. (2010). *Estudo da influência dos factores de aplicação no desempenho de argamassas de revestimento recorrendo a técnicas de ensaio in-situ*. Dissertação de mestrado de Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.
- Iara Santos. (2014). argamassas. Disponível em: <http://www.ebah.pt>, Acedido em: Agosto de 2016.
- Leal, M. (2012). *Desenvolvimento de argamassas de revestimento com comportamento térmico melhorado*. Dissertação de mestrado de Engenharia Civil, Instituto Politecnico de Setubal. Setubal.
- Lopes, G. (2014). *Análise dos mecanismos de capilaridade em corpos porosos*. Dissertação de mestrado de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Martinho, J. (2010). *Construção de Tabique na Associação de Municípios da Terra Fria do*

- Nordeste Transmontano (AMTFNT)*. Dissertação de mestrado de Engenharia Civil, UTAD. Vila Real.
- Martins, A. I. G. (2010). *A influência das condições de cura em argamassas de cais aéreas com e sem adição de metacaulino*. Dissertação de mestrado de Engenharia Civil, Instituto Politécnico de Setubal. Setubal.
- Nabais, J. (2015). *Avaliação da aderência ao suporte de rebocos de terra*. Universidade Nova de Lisboa.
- Ensaio de erosão. IPN. Acedido em: <https://www.ipn.pt>. Acedido em Agosto de 2016
- NP-EN-933-8. (2002). Ensaio do equivalente de areia.
- NP-EN-933-9. (2002). Agregados azul metileno.
- NP EN 196-6. (1990). Métodos de ensaio de cimento.
- NP EN 998-1. (2010). Especificações de argamassas para alvenarias. Parte 1: Argamassas para rebocos interiores e exteriores.
- Olender, M. (2006). *A técnica do Pau-A-Pique: subsídios para sua prevenção*. Dissertação de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal da Bahia. Brasil.
- Pereira, C. (2011). *Avaliação da variabilidade da técnica de ensaio do tubo de Karsten na medição da permeabilidade à água líquida em revestimentos de ladrilhos cerâmicos e argamassas Engenharia Civil*. Dissertação de mestrado de Engenharia Civil. Universidade Tecnica de Lisboa. Lisboa
- Pinto, R. N. (2013). *Caracterização das paredes de tabique do centro histórico de Viseu*. Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil. Instituto Politécnico de Viseu. Viseu.
- Pires, A. (2013). *Análise de Paredes de Tabique e de Medidas de Reforço Estrutural; Estudo Numérico*. Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil, FEUP. Porto.
- Poerschke, N. (2016). Relatório determinação do equivalente de areia. Disponível em: <http://www.ebah.pt>. Acedido em Agosto de 2016
- Rezende, M. L. de S. (2015). *Desenvolvimento e avaliação de um simulador de chuvas para teste acelerado de degradação em alvenarias*. Revista de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Campus de Guimarães.
- Robalo, S. (2013). *Características de argamassas de cal aérea com diferentes traços e teores de metacaulino sujeitas a aspersão com água potável e do mar a idades jovens*.

- Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil, Universidade Nova Lisboa. Lisboa.
- Rodrigues, M. (2004). *Argamassas de revestimento para alvenarias antigas*. Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Santos, A. R., & Veiga, R. (2012). *Argamassas compatíveis para edifícios antigos*. Jornadas: Engenharia para a sociedade: investigação e inovação. LNEC. Lisboa.
- Santos, P. A. (2014). *Caraterização de argamassas de cal aérea e terra: A influência do traço e tipo de fibra natural*. Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Santos, S. R. D. S. (2009). *Argamassas Pré-Doseadas para Rebocos de edícios recentes*. Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.
- Santos, T., Faria, P., & Silva, V. (2014). *Caracterização de argamassa pré-doseada de terra*. Simposio de Argamassas E Soluções Termicas de Revestimento.
- Santos, T. R. A. dos. (2014). *Argamassas de terra para rebocos interiores - Ensaios de caracterização e influência da formulação*. Dissertação de mestrado de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Silva, N. (2016). Emerson Silva densiade das paritu. Disponível em: <http://www.ebah.pt>. Acedido em Agosto de 2016
- Veiga, M. do R. (1998). *Comportamneto de argamassas de Revestimento de paredes*. Dissertação de Doutoramento de Engenharia Civi, LNEC. Lisboa
- Veiga, M. do R. (2003). *Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes*. Actas Do 3º ENCORE, Encontro Sobre Conservação E Reabilitação de Edifícios. Lisboa, LNEC.