



**FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

# **Argamassas de Cimento e Cal com Incorporação de Fibras de Acácia**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Construções

Autor

**Diogo Miguel Pinto Pereira**

Orientador

**Professora Doutora Maria Isabel Morais Torres**

**Professor Doutor José António Raimundo Mendes da Silva**

Colaboração Institucional



Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

**Coimbra, Julho, 2015**

## **AGRADECIMENTOS**

A conclusão da realização desta dissertação marca o fim de uma etapa bastante importante, a qual só foi possível graças a algumas pessoas e entidades, nomeadamente:

- ✓ À Professora Doutora Maria Isabel Morais Torres, por toda a ajuda, dedicação e disponibilidade demonstrada ao longo deste trabalho;
- ✓ Ao Professor Doutor José António Raimundo Mendes da Silva, pela transmissão de conhecimentos ao longo do curso, o que contribui para a realização desta dissertação.
- ✓ À Engenheira Gina Matias, técnica superior do ITeCons, por toda a ajuda e disponibilidade demonstradas ao longo do trabalho experimental;
- ✓ Ao ITeCons, Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção, pela disponibilização de todas as condições para a realização do trabalho.
- ✓ A todos os funcionários do ITeCons que de forma direta ou indireta contribuíram e ajudaram na realização deste trabalho;
- ✓ Aos meus colegas de curso, que fui conhecendo ao longo do tempo e que me ajudaram bastante, contribuindo para todo o sucesso ao longo do curso;
- ✓ A todos os meus amigos de Abrantes e colegas de banda.

Por fim, quero agradecer de forma muito especial aos meus pais e ao meu irmão, por toda a motivação, dedicação e sacrifício que demonstraram ao longo destes tempos.

A todos, o meu sincero e muito obrigado.

## **RESUMO**

Os revestimentos exteriores são os principais elementos de proteção das paredes exteriores, protegendo-as das ações externas e conferindo impermeabilização contra os agentes atmosféricos. Neste sentido, estes são os elementos mais expostos à degradação, pelo que devem apresentar uma resistência mecânica e um comportamento higrotérmico adequado, garantido toda a compatibilidade com os outros elementos construtivos.

Os revestimentos constituídos por argamassas que se aplicam na construção recente são, geralmente, à base de cimento. No entanto, o setor atravessa uma fase onde a reabilitação de edifícios antigos está muito presente, sendo frequente a ocorrência de erros de conceção e de execução na reabilitação de fachadas antigas, devido à utilização de argamassas incompatíveis.

Neste sentido, a execução de argamassas de substituição compatíveis com as existentes deve ser realizada de forma correta, de modo a evitar o aparecimento de novas patologias na fachada, ou o agravamento das existentes. Na antiguidade, a cal era utilizada como ligante nas argamassas, enquanto os materiais cerâmicos conferiam determinadas propriedades das mesmas, nomeadamente a resistência mecânica, surgindo, deste modo, a necessidade de estudar e utilizar novamente as argamassas de cal.

Como já foi referido, a construção atravessa uma fase de carácter sustentável, com a criação de novas técnicas construtivas, bem como novos materiais. No âmbito das argamassas muito tem sido estudado, nomeadamente a incorporação de resíduos cerâmicos ou vários tipos de fibras, melhorando algumas características das argamassas e contribuindo para uma redução da poluição, gastos de energia e reaproveitamento de materiais, contribuindo assim para a sustentabilidade no setor.

No âmbito desta temática, pretende-se analisar o comportamento mecânico e higrotérmicos de argamassas de cimento e de cal hidráulica, reforçadas com fibras de acácia, com um teor de 5% e 10%. Realizou-se uma atividade experimental com o objetivo de determinar as resistências mecânicas, a permeabilidade ao vapor de água, a absorção de água por capilaridade, o comportamento à secagem e porosidade aberta. Com estes resultados avaliou-

se a influência destas fibras no comportamento de argamassas de cimento e cal, bem como as suas aplicabilidades.

## **ABSTRACT**

The external coatings are the main elements of protection of exterior walls, protecting them from external actions and providing sealing against atmospheric agents. In this way, these are the elements more exposed to degradation and must exhibit good mechanical strength and a suitable hygrothermal behavior, ensuring compatibility with all the other construction elements.

The actual mortar based coatings applied in new constructions are generally cement-base. Nevertheless, the sector is undergoing through a period where the rehabilitation of old buildings is becoming more present, design errors and execution errors occur frequently in the rehabilitation of old facades due to the usage of incompatible mortars.

Consequently, the application of replacement mortars compatible with existing ones must be executed correctly, in order to avoid the appearance of new diseases in the facade or the aggravation of the existing ones. In ancient times, the air lime was used as a binder in mortars, while the ceramic materials gave them certain properties, particularly mechanical strength, opening space for the need to study and use once more the air lime mortars.

As we have mentioned before, construction is on a period of sustainable development, with the conception of new building techniques and new materials. In the specific case of the mortars much has been studied, such as the incorporation of ceramic waste or various kinds of fibers, in order to improve some of the mortars' characteristics and to support the reduction of pollution reduction and energy costs as well as the reutilization of materials, giving a contribution to the sustainability of the sector.

Within the scope of this thematic, we intend to analyze the mechanical behavior and hygrothermal aging of cement mortars and air lime, reinforced with acacia fiber with a content of 5% and 10 %. An experimental activity was conducted in order to calculate the mechanical strength, the permeability to water steam, the absorption of water by capillary action, the behavior to drying and to open porosity. With those results, we have evaluated the influence of these fibers on the behavior of fiber cement and lime mortars' as well as their applicability.

## ÍNDICE

|  |     |
|--|-----|
| AGRADECIMENTOS .....   | i   |
| RESUMO .....   | ii  |
| ABSTRACT .....   | iii |
| ÍNDICE.....  | iv  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  | vi  |
| ÍNDICE DE QUADROS .....  | vii |
| 1 INTRODUÇÃO .....   | 1   |
| 1.1 Enquadramento .....  | 1   |
| 1.2 Objetivo e metodologia.....  | 2   |
| 1.3 Organização da dissertação .....                                       | 2   |
| 2 ESTADO DA ARTE .....   | 4   |
| 2.1 Argamassas .....   | 4   |
| 2.2 Materiais constituintes das argamassas .....                           | 6   |
| 2.2.1 Agregados .....  | 6   |
| 2.2.2 Ligante .....  | 7   |
| 2.2.2.1 Cimento .....  | 8   |
| 2.2.2.2 Cal Aérea .....  | 10  |
| 2.2.2.3 Cal Hidráulica.....  | 11  |
| 2.2.3 Água de amassadura .....   | 12  |
| 2.2.4 Agregados não correntes .....  | 12  |
| 2.3 Argamassas de revestimento para edifícios.....                         | 13  |
| 2.3.1 Considerações gerais .....   | 13  |
| 2.3.2 Funções e requisitos a exigir a argamassas de revestimento .....     | 13  |
| 2.3.3 Argamassas de revestimento para edifícios recentes.....              | 14  |
| 2.3.4 Argamassas de revestimento para edifícios antigos .....              | 16  |
| 2.3.5 Principais patologias nos rebocos de edifícios antigos.....          | 16  |
| 2.3.6 Características das argamassas e compatibilidade com o suporte ..... | 17  |
| 2.4 Fibras naturais .....  | 18  |
| 2.4.1 Considerações gerais .....   | 18  |
| 2.4.2 Tipos de fibras .....  | 19  |
| 2.4.3 Fibras naturais .....  | 19  |
| 2.4.4 Características das fibras .....                                     | 20  |

---

|   |    |
|---|----|
| 2.4.4.1 Teor de fibras.....   | 20 |
| 2.4.4.2 Geometria das fibras.....                                     | 20 |
| 2.4.4.3 Distribuição e orientação das fibras.....                     | 21 |
| 2.4.4.3 Resistência mecânica e módulo de elasticidade das fibras..... | 21 |
| 3 ANÁLISE EXPERIMENTAL .....  | 22 |
| 3.1 Descrição dos procedimentos experimentais.....                    | 22 |
| 3.1.1 Caracterização da matéria-prima .....                           | 22 |
| 3.1.2 Baridade das matérias-primas.....                               | 24 |
| 3.1.3 Preparação das argamassas .....                                 | 25 |
| 3.1.3 Ensaio sobre argamassas frescas .....                           | 27 |
| 3.1.3.1 Ensaio de consistência por espalhamento.....                  | 27 |
| 3.1.4 Ensaio sobre argamassas endurecidas .....                       | 29 |
| 3.1.4.2 Ensaio de resistência à tração por flexão.....                | 29 |
| 3.1.4.3 Ensaio de resistência à compressão .....                      | 31 |
| 3.1.4.4 Permeabilidade ao vapor de água .....                         | 32 |
| 3.1.4.5 Determinação da absorção de água por capilaridade.....        | 37 |
| 3.1.4.6 Ensaio de secagem.....  | 41 |
| 3.1.4.7 Determinação da massa volúmica e porosidade aberta .....      | 45 |
| 3.2 Discussão dos resultados .....                                    | 48 |
| 4 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS .....                                 | 54 |
| 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                    | 56 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1 – Aplicação incorreta do reboco face ao suporte (Duarte, 2011).....                         | 5  |
| Figura 2.2 – Aplicação das várias camadas do reboco tradicional.....                                   | 15 |
| Figura 2.3 – Transferência de tensões numa fissura (Henriques, 2013). ....                             | 21 |
| Figura 3.1 - Processo de transformação das fibras de acácia. ....                                      | 22 |
| Figura 3.2 – Curva granulométrica da areia. ....   | 24 |
| Figura 3.3 – Realização do ensaio de consistência por espalhamento. ....                               | 27 |
| Figura 3.4 – Provette sujeito ao ensaio de resistência à tração por flexão. ....                       | 30 |
| Figura 3.5 – Resistência à tração por flexão aos 28 dias. ....   | 30 |
| Figura 3.6 – Resistência à compressão por flexão aos 28 dias. ....                                     | 32 |
| Figura 3.7 – i) Impermeabilização das faces laterais dos provetes; ii) Sistema tina-provete...33       |    |
| Figura 3.8 – Permeabilidade ao vapor de água e espessura da camada de ar equivalente aos 28 dias. .... | 36 |
| Figura 3.9 – Medição da massa dos provetes colocados no tanque de água. ....                           | 38 |
| Figura 3.10 – Curvas de absorção de água por capilaridade obtidas no ensaio aos 28 dias. ....          | 40 |
| Figura 3.11 – Curva de absorção de água por capilaridade na primeira hora de ensaio aos 28 dias. ....  | 41 |
| Figura 3.12 – i) Colocação dos provetes em estufa; ii) Medição da massa de cada provete ....           | 42 |
| Figura 3.13 – Curvas de secagem média de argamassas de cimento aos 28 dias. ....                       | 43 |
| Figura 3.14 – Curvas de secagem média das argamassas de cal hidráulica aos 28 dias. ....               | 44 |
| Figura 3.15 – Saturação dos provetes. ....   | 46 |
| Figura 3.16 – Porosidade aberta e massa volúmica aparente aos 28 dias. ....                            | 47 |
| Figura 3.17 – Relação das resistências à tração por flexão e compressão. ....                          | 48 |
| Figura 3.18 – Permeabilidade ao vapor de água. ....  | 49 |
| Figura 3.19 – Relação entre o coeficiente de capilaridade e o valor assintótico.....                   | 50 |
| Figura 3.20 – Porosidade aberta. ....  | 50 |
| Figura 3.21 – Relação entre a porosidade aberta e o coeficiente de capilaridade. ....                  | 51 |
| Figura 3.22 – Relação entre a porosidade aberta e a permeabilidade ao vapor de água. ....              | 52 |
| Figura 3.23 – Relação entre o coeficiente de capilaridade e o índice de secagem.....                   | 52 |



## ÍNDICE DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 2.1 – Requisitos para argamassas de substituição ou reparação.....  | 17 |
| Quadro 3.1– Dados sobre a granulometria da areia do rio.....   | 23 |
| Quadro 3.2 – Dados sobre a granulometria da areia do rio.....  | 25 |
| Quadro 3.3 – Caracterização das argamassas em estudo.....  | 25 |
| Quadro 3.4 – Ensaio realizados e respectivos números de provetes.....  | 26 |
| Quadro 3.5 – Caracterização do ensaio de consistência por espalhamento.....  | 28 |
| Quadro 3.6 – Permeabilidade ao vapor de água, fatores de resistência ao vapor de água,<br>espessuras da camada de ar equivalente e respectivos desvios padrão aos 28 dias. | 36 |
| Quadro 3.7 – Coeficientes de capilaridade, valores assintóticos e respectivos desvios-padrão.  | 40 |
| Quadro 3.8 – Valor do índice de secagem e respectivo desvio padrão aos 28 dias.....  | 45 |

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 Enquadramento**

As argamassas de revestimento em edifícios garantem a proteção das paredes exteriores, quando estas estão sujeitas a ações destrutivas e consequente degradação. Devem conferir regularidade às alvenarias, contribuir para a sua impermeabilização e proteção contra ações climáticas, choques mecânicos e contaminação ambiental, e também contribuir para um acabamento visual agradável da superfície. Devem ainda apresentar uma adequada resistência mecânica, uma vez que são os elementos mais sujeitos à degradação.

As argamassas são constituídas por uma mistura que envolve, areia, água e ligante, podendo ser adicionados alguns aditivos que melhorem alguma característica específica.

Inicialmente, as argamassas eram constituídas por cal aérea, considerado um dos materiais de construção mais antigos. Este tipo de argamassas foi utilizado até meados do século XX, quando surgiu o cimento Portland, que confere às argamassas uma maior resistência e maior endurecimento, tornando-se no ligante mais utilizado, colocando a cal em desuso.

Nos dias de hoje, a reabilitação de edifícios antigos (que no âmbito das argamassas de revestimento se relaciona com a reabilitação das fachadas dos edifícios antigos) tem um papel muito importante na construção, daí a necessidade que os materiais de reparação, de consolidação e substituição sejam adequados, de modo a não criar incompatibilidade entre a argamassa e o suporte ou outros elementos construtivos, o que pode originar novas patologias ou o agravamento das existentes. Neste sentido, as argamassas de cimento correntes tornam-se demasiado rígidas e incompatíveis para servirem de argamassas de substituição de edifícios antigos, levando novamente ao estudo e ao uso de argamassas de cal para o efeito.

Atualmente, existem novas técnicas de construção e novos materiais que podem ser utilizados na composição de argamassas, seguindo a lógica de uma construção sustentável, que é um parâmetro bastante importante nos dias de hoje. Assim, já foram realizados vários estudos, muitos deles com sucesso, onde são utilizados materiais na incorporação de argamassas, melhorando algumas características específicas. Alguns dos materiais utilizados estão relacionados com resíduos cerâmicos e industriais, aumentam a resistência das argamassas, levam a uma redução da poluição, gastos de energia e reaproveitamento de materiais que seriam colocados em aterro, gerando um menor impacto ambiental. A utilização de fibras

naturais já é bastante comum também, podendo contribuir para a melhoria do comportamento mecânico e higrotérmico das argamassas. Deste modo é necessário estudar estas soluções, quer em argamassas tradicionais correntes, quer em argamassas de reabilitação, desenvolvendo uma prática construtiva mais sustentável e contribuindo para a estabilidade ambiental, social e económica geral.

## **1.2 Objetivo e metodologia**

O objetivo desta dissertação é caracterizar o comportamento mecânico e higrotérmico de argamassas de cal hidráulica e de cimento reforçadas com fibras de acácia, e avaliar a influência do teor de fibras utilizadas na mistura.

Analisaram-se duas argamassas de referência, uma argamassa de cimento e uma argamassa de cal hidráulica, às quais foram adicionadas as fibras de acácia num teor de 5% e 10% em relação à massa do ligante (cimento e cal aérea) De seguida foram avaliados certos parâmetros, nomeadamente resistências mecânicas, permeabilidade ao vapor de água, absorção de água por capilaridade, secagem, massa volúmica e porosidade aberta.

Este trabalho é o primeiro a ser realizado com este tipo de fibras, sendo desconhecida a sua influencia no comportamento de argamassas, no entanto, por se tratar de uma fibra natural semelhante a algumas já estudadas, realizou-se este trabalho para analisar a possibilidade de contribuir para o desenvolvimento de mais um novo produto de construção e atribuir uma aplicação a estas fibras naturais.

## **1.3 Organização da dissertação**

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos principais.

No primeiro capítulo encontra-se a introdução sobre este trabalho, onde é apresentado um enquadramento do tema, bem como os objetivos e metodologias propostos, e descreve-se a organização do respetivo texto.

O segundo capítulo é dedicado ao estado da arte e encontra-se dividido em duas partes. A primeira aborda a temática das argamassas, a sua origem e evolução, os materiais constituintes, os vários tipos de ligantes existentes, a sua aplicação em edifícios correntes e antigos, bem como as patologias que lhes estão associadas. Este capítulo termina com uma abordagem sobre a utilização de fibras naturais em materiais de construção, apontando algumas vantagens e desvantagens e características que possibilitam essa mesma utilização.

No terceiro capítulo é descrito todo o trabalho experimental, descrevendo os procedimentos experimentais utilizados, resultados obtidos e análise crítica.

O quarto capítulo apresenta todas as conclusões retiradas ao longo do trabalho, realizando uma análise crítica geral ao comportamento e características do material.

Por fim, no quinto capítulo são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas.

## 2 ESTADO DA ARTE

### 2.1 Argamassas

A argamassa é definida como um material de construção que consiste numa mistura, executada de forma manual ou mecânica, homogénea e de cor uniforme. Esta mistura é constituída por vários materiais, sendo que os essenciais são o ligante, o agregado e a água. No entanto podem ser adicionados outros, como é o caso de aditivos e adjuvantes, de modo a melhorar algumas características específicas da argamassa. (Alberto, 2014).

A utilização de argamassas no revestimento de paramentos é uma técnica construtiva bastante antiga e comum, que sofreu algumas transformações até aos dias de hoje. Em algumas situações, esta técnica construtiva de revestimento, chegou a ser utilizada como forma de disfarçar o substrato, criando assim uma maior robustez, de tal forma, que os paramentos antigos de taipa ou de adobe, assemelhavam-se a paredes de alvenaria de pedra. (Faria, 2004).

Os primeiros vestígios da utilização de argamassas na construção remontam para as civilizações neolíticas. Os Etruscos e Egípcios já aplicavam argamassas, cujo ligante principal era o gesso, na construção de arcos, abóbadas e pirâmides, nomeadamente no assentamento de blocos e execução de revestimentos. A civilização grega foi a primeira a utilizar argamassas em maior escala na Europa, sobretudo argamassas de cal aérea. Posteriormente, os povos gregos e romanos descobriram as argamassas de cal calcinada, oferecendo uma resistência e durabilidade aceitável para a época. No entanto, este tipo de misturas apresenta uma absorção capilar elevada e uma permeabilidade ao vapor de água também elevada, facilitando, deste modo, a evaporação de água contida no interior. (Cavaco, 2005). Surgiu então a cal hidráulica, resultando do facto de a matéria-prima surgir com maior teor em argila, e com temperaturas mais elevadas no processo de cozedura.

Estas argamassas foram utilizadas durante muito tempo na construção, contudo, durante o século XX, em Portugal e um pouco por todo o mundo, e devido ao desenvolvimento industrial, surgiu o cimento Portland, que se tornou no ligante mais usado na realização de argamassas. Este ligante proporciona elevadas resistências mecânicas, oferecendo uma reduzida capacidade de deformação, apresenta um menor tempo de cura relativamente às argamassas de cal e uma menor permeabilidade ao vapor de água. No entanto, o uso de cimento tem as suas desvantagens a nível ambiental, desde a extração da matéria-prima, que gera a degradação e contaminação da água de solos e emite elevadas quantidades de CO<sub>2</sub> para

a atmosfera. (Mergulhão, 2014). Estas preocupações têm surgindo nos últimos anos, uma vez que o sector da construção atravessa uma fase de desenvolvimento de matérias sustentáveis, de modo a contribuir para uma estabilidade ambiental, social e económica global.

As funções das argamassas passam pela proteção e estanqueidade do suporte. Neste sentido, e em obras de reabilitação, é necessário que haja uma compatibilidade entre as argamassas e os materiais já existentes de modo a não originar tensões ou componentes incompatíveis com esse suporte, que podem desencadear o agravamento de degradações já existentes ou até o aparecimento de novas patologias. Assim, é de grande importância a caracterização das argamassas a utilizar, nomeadamente a escolha apropriada do ligante, de modo a existir compatibilidade mecânica, física e químicas dos diversos elementos. (Duarte, 2011).



Figura 2.1 – Aplicação incorreta do reboco face ao suporte (Duarte, 2011).

Assim, as argamassas de cimento, utilizadas na construção moderna, nem sempre são as mais adequadas para o tipo de suporte, numa obra de reabilitação ou numa pequena correção de uma patologia de alvenaria, principalmente quando se tratam de alvenarias e rebocos antigos, que devido às suas características físicas e mecânicas, vão criar incompatibilidades. Estas argamassas, quando comparadas com as argamassas de cal, apresentam uma baixa absorção capilar de água, mas um pior comportamento na fase de secagem. (Ferreira, 2014). Além disso, são suscetíveis de libertar sais solúveis, apresentam uma elevada retração, devido à sua resistência mecânica, o que pode originar fenómenos de fendilhação. São estas as principais características que tornam estas argamassas incompatíveis com certos suportes onde são aplicadas. (Mergulhão, 2014).

Devido às razões apresentadas em cima, tem aparecido outro tipo de argamassas de substituição para rebocos, como é o caso de argamassa bastarda de cimento, cal aérea, ou cal hidráulica e areia, conjugando as vantagens e desvantagens dos dois ligantes. No entanto, as argamassas de cal hidráulica apresentam um comportamento intermédio comparativamente às argamassas de cal aérea e de cimento, fazendo dela a mais utilizada em qualquer obra de reabilitação de alvenaria antiga. (Ferreira, 2014).

## **2.2 Materiais constituintes das argamassas**

A argamassa é constituída por materiais ligantes (cimento, cal aérea e cal hidráulica), agregados (areia do rio), água, e por vezes, outros materiais que garantem alguma característica específica (componentes pozolânicos), ou agregados não correntes, nomeadamente resíduos cerâmicos, resíduos industriais, fibras naturais ou vegetais, ou como é o caso deste trabalho, fibras de acácia. A amassadura da argamassa deve-se iniciar sempre com a mistura dos constituintes sólidos e posteriormente adicionar-se água.

### **2.2.1 Agregados**

Os agregados são constituintes praticamente inertes na formulação de argamassas, que não reagem quimicamente com nenhum dos restantes elementos, mantendo sempre a sua composição orgânica. Geralmente são utilizados agregados finos, mais conhecidos por areia, que, apesar de não serem coesivos, apresentam um papel determinante na compacidade da argamassa, diminuindo a sua retração, aumentando a porosidade, melhorando a permeabilidade ao vapor de água, diminuindo assim a quantidade de ligante, o que leva a um aumento da resistência à compressão. (Agostinho, 2008).

Desta forma, os agregados influenciam o comportamento das argamassas, devido à sua granulometria e às formas das partículas de areia, o que está diretamente relacionado com o volume de vazios da mistura. O agregado deve apresentar uma granulometria extensa, uma vez que as partículas de maiores dimensões fornecem uma maior resistência, enquanto as partículas mais finas irão preencher os espaços vazios. Como já foi referido, o volume de vazios depende da granulometria e da forma das partículas, sendo menor quando estas apresentam uma forma mais angulosa, diminuindo também o volume de água e ligante necessário, tornando a argamassa mais compacta, mais resistente mecanicamente e com uma melhor trabalhabilidade. (Cavaco, 2005 e Penas, 2008).

As areias podem ser classificadas segundo a sua origem, composição e cor, fatores que condicionam o comportamento da argamassa. Neste sentido, as areias podem ter origem natural ou origem artificial, quando são fabricadas por britagem de material extraído de pedreiras.

As areias de origem natural, são normalmente areias siliciosas, que resultam da degradação do quartzo e granito, e tem origem no areeiro ou no rio. As areias provenientes do areeiro, apresentam um aspeto mais áspero, com grãos angulosos, e uma maior percentagem de argila que pode conduzir a uma maior trabalhabilidade da argamassa e uma maior resistência mecânica, enquanto as areias do rio, por apresentarem uns grãos mais rolados, vão conferir uma resistência menor. (Ferreira, 2011). No entanto, existem também areias calcárias, que também apresentam origem natural oriunda de pedra, nas quais se deve ter em conta o teor

partículas finas. Deste modo, a quantidade de argila deve ser controlada, pois se for em excesso pode reduzir a ligação entre o agregado e o ligante, sendo necessário adicionar uma maior quantidade de água à mistura, o que pode originar fenómenos de retracção. Um indicador prévio da presença de argila na areia é a sua cor, uma vez que esta apresenta uma cor bastante amarelada, quanto maior for o teor de argila. (Faria, 2004).

Finalmente, existem diversos requisitos que o agregado deve apresentar. Segundo Duarte (2011), citando Matias (2008), o agregado não deve reagir quimicamente com os restantes componentes e deve ser sujeito a um processo de limpeza e lavagem, de modo a eliminar a presença de partículas contaminantes associadas ao tipo de agregado ou ao local de extração. Deve-se ter cuidado com a sua porosidade, pois se for pouco poroso aumenta significativamente a resistência mecânica, mas leva a deficiências no processo de carbonatação e torna-se necessário identificar a aplicabilidade da argamassa, uma vez que num reboco, a dimensão do agregado deve diminuir do paramento para a camada mais superficial. (reboco tradicional, subcapítulo 2.3.3).

### **2.2.2 Ligantes**

O ligante consiste num pó bastante fino, que tem o papel de aglutinador dos vários constituintes da argamassa, fornecendo a coesão e a resistência necessária. Os ligantes podem dividir-se em quatro grandes categorias: hidráulicos, aéreos, orgânicos e sintéticos. (Ferreira, 2011). Na realização deste trabalho foram utilizados como ligante a cal hidráulica e o cimento.

Os ligantes hidráulicos são constituídos por pós muito finos, e que ao serem amassados com água, vão formar uma pasta que endurece, tanto ao ar, como imerso, através da reação química que se estabelece entre o pó e a água. Os ligantes aéreos, não apresentam a capacidade de endurecer dentro de água, uma vez que necessitam do dióxido de carbono da atmosfera para os transformar em carbonatos.

Os ligantes orgânicos, que ainda se encontram numa fase de estudo e expansão, são compostos resultam de produtos de origem animal, como betumes, resinas, gomas vegetais, colas, óleos e ceras. Por outro lado, os ligantes sintéticos têm origem em polímeros naturais que podem ou não ser alterados pelo homem, nomeadamente as resinas epoxídicas, poliuretanos e silicones. (Rodrigues, 2004).

As características físicas e químicas dos ligantes tem um papel muito importante e definem o comportamento final da argamassa. As características principais são o peso específico ou massa volúmica, a finura, a hidraulicidade, a presa e endurecimento, expansibilidade e tensão de rotura.



Como já foi referido anteriormente, as primeiras argamassas usavam a cal aérea como ligante e eram aplicadas em assentamentos de alvenaria e revestimento de paredes. Com o aparecimento da cal hidráulica, que apresenta uma maior resistência e melhores propriedades hidráulicas, pois ganha presa imersa, a cal aérea deixou de ser utilizada na construção. Mais tarde surgiu o cimento Portland, que apresenta melhores propriedades físicas e mecânicas, tornando-se assim, o ligante mais utilizado na construção nova. No entanto, devido às intervenções de reabilitação dos edifícios existentes, surge a necessidade do estudo sobre argamassas de cal e a sua aplicabilidade, dado que estas apresentam melhor compatibilidade com edifícios antigos.

### 2.2.2.1 Cimento

O cimento é um material inorgânico finamente moído que, convenientemente amassado com água, forma uma pasta que faz presa e endurece devido às reações de hidratação e que, depois de endurecer, mantém a sua resistência e estabilidade mesmo debaixo de água, fazendo dele o ligante hidráulico mais utilizado na construção. (Branco, 2010). O cimento é composto, quimicamente, pelos seguintes constituintes:

Silicato tricálcico ( $SiO_2 3CaO$ ) - 20 a 25%

Silicato bicálcico ( $SiO_2 2CaO$ ) - 10 a 15%

Aluminato tricálcico ( $Al_2O_3 3CaO$ ) - 0 a 15%

Alumino-ferrato tetracálcico ( $Al_2O_3 Fe_2O_3 4CaO$ ) - 5 a 15%

O processo de fabrico de cimento inicia-se com a preparação da matéria-prima, com a qual se prepara uma mistura devidamente proporcionada de calcário (carbonato de cálcio, 70 a 80%), argilas (silicatos de alumínio e ferro, 20 a 30%) e eventualmente outras substâncias ricas em sílica, alumina ou ferro. Os calcários e as argilas são então britados, misturados e sofrem um processo de moagem em moinhos de esferas de aço a fim de obter uma mistura devidamente homogeneizada, que se denomina de crú.

Esta mistura é inserida num forno rotativo, onde a temperatura atinge os 1450°C, que origina várias reações químicas, nomeadamente a fusão dos aluminatos e ferratos, e após a cozedura, a composição química média altera-se e deverá ser:

Cal ( $CaO$ ) - 60 a 68%

Sílica ( $SiO_2$ ) - 17 a 25%

Alumina ( $Al_2O_3$ ) - 2 a 9%

Óxido de ferro ( $Fe_2O_3$ ) - 0,5 a 6%

Óxido de magnésio ( $MgO$ ) - 0 a 2%

Óxidos de sódio e potássio ( $Na_2O$  e  $K_2O$ ) - 0,5 a 1,5%

A cozedura das matérias-primas origina pequenas esferas de cor cinzentas que são dominadas de clínquer, que deve ser arrefecido rapidamente à saída do forno, para manter a estrutura molecular do silicato tricálcico e do silicato bicálcico, e armazenado, para posteriormente ser moído.

A moagem do clínquer ocorre em conjunto com alguns adjuvantes e aditivos, nomeadamente o gesso, que é adicionado durante a moagem do clínquer, numa proporção de 2 a 3% e actua como retardador da presa. Este é necessário pois o aluminato tricálcico provoca uma presa instantânea com elevação da temperatura, que se não fosse retardada, não daria tempo para se poder trabalhar o betão e a argamassa. Outros adjuvantes, como polozanas, escórias dos altos fornos e cinzas volantes também são adicionados e tem a função de fixar a cal baixando o calor de hidratação sem reduzir a resistência à compressão. Nesta fase de moagem, o clínquer é transformado em pó, transformando-se no cimento na sua forma conhecida, e a sua finura é controlada, ou seja, a sua superfície específica, que determina a qualidade do cimento, quanto maior for, melhor é a qualidade do cimento. (Branco, 2010; Martins, 2008).

Deste modo, a uniformidade das propriedades e do comportamento do cimento, depende inteiramente da quantidade de clínquer existente, e deve ser controlada por ensaios de receção, que tem como objetivo determinar as resistências mecânicas, tempo de presa e da expansibilidade, analisar quimicamente os cimentos, bem como o seu teor de pozolanicidade e calor de hidratação.

Na Figura 2.2 está representado o processo de fabrico do cimento, com os principais processos de transformação.

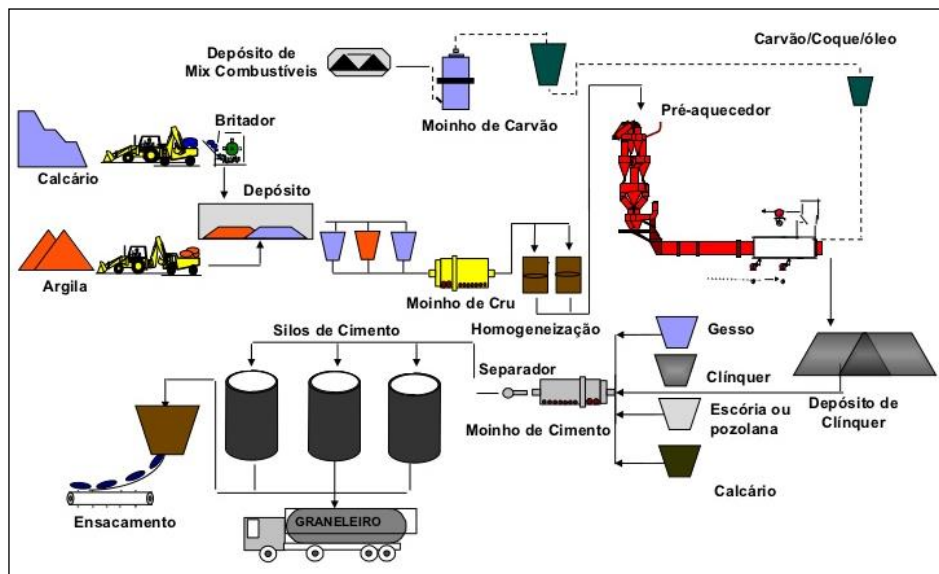


Figura 2.1 – Processo de fabrico de cimento

### 2.2.2.2 Cal Aérea

A cal aérea é um ligante constituído principalmente por óxidos ou hidróxidos de cálcio, que ao ser amassada com água, endurece lentamente ao ar, através de uma reacção química com o dióxido de carbono presente na atmosfera. Esta cal não apresenta propriedades hidráulicas, logo não ganha presa debaixo de água. (Duarte, 2011).

Segundo Alberto (2014), a cal aérea tem origem na decomposição de rochas cálcicas, que contém percentagens nunca inferiores a 95% de carbonato de sódio ( $CaCO_3$ ), ou, na decomposição de rochas dolomítica, constituída por carbonato de cálcio e magnésio ( $CaMg(CO_3)_2$ ), podendo ter uma designação de DL para a cal dolomítica ou magnesiana e de CL para cal cálcica. A cal aérea pode ser dividida em dois grupos, dependendo do seu teor de impurezas: cal gorda e cal magra. A cal gorda tem na sua constituição calcários quase puros, com teores de carbonato de cálcio, nunca inferiores a 99%, enquanto que a cal magra deriva de calcários com teores de argila e de outras impurezas, entre 1 e 5% (Alberto, 2014; Duarte, 2011).

A fabricação da cal aérea inicia-se quando a rocha calcária é submetida a temperaturas na ordem dos 900°C, dependendo do grau de impurezas da matéria-prima. Durante este processo, de calcinação, o carbonato de cálcio é decomposto em óxido de cálcio, mais conhecido por cal viva, e dióxido de carbono que é libertado para a atmosfera.



A cal viva obtida é um material bastante instável, como tal, sofre um processo de extinção, ou seja, é sujeita a uma reação com a água, fortemente exotérmica e expansiva, de modo a ficar mais estável. Durante esta reação, ocorre a fragmentação do óxido de cálcio, o que origina hidróxido de cálcio, mais conhecido por cal apagada.



Posteriormente, a cal apagada permanece em contacto com o dióxido de carbono, onde se transforma em carbonato de cálcio, libertando água e calor.

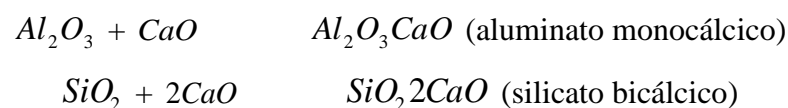


A pasta de cal aérea sofre um processo de secagem, o que origina fenómenos de contração e fissuração. De modo a evitar fissuras por retração, é vulgar adicionar à argamassa, areias siliciosas ou calcárias, ou pó de pedra, bem limpas e isentas de matéria húmida. (Alberto, 2014; Rodrigues, 2004).

### 2.2.2.3 Cal Hidráulica

A cal hidráulica, tal como o nome indica, é um ligante hidráulico constituído fundamentalmente por silicatos, aluminatos e hidróxidos de cálcio, que resultam da queima de rocha calcária argilosa e subsequente extinção de materiais como hidróxido de cálcio. Ao contrário da cal aérea, a hidráulica ganha presa e endurecer, dentro e fora de água. (Alberto, 2014).

A cal hidráulica é obtida através da cozedura de calcários, que contêm entre 5 a 20% de argila na sua constituição, os chamados calcários margosos, a uma temperatura de aproximadamente 1200°C. Numa fase inicial do processo, quando a cozedura atinge uma temperatura de 850°C, ocorre a decomposição do carbonato de sódio ( $CaCO_3$ ), em cal viva ( $CaO$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ), ocorrendo também a dissociação da argila, em alumina ( $Al_2O_3$ ) e sílica ( $SiO_2$ ). Estes dois constituintes vão-se fixar à cal viva ( $CaO$ ) originando deste modo a cal hidráulica, resultado da hidratação de silicatos e aluminatos.



Antes da utilização da cal hidráulica, é necessário efetuar a extinção do óxido de cálcio livre, sendo esta uma operação lenta, realizada em fábrica. Como a extinção da cal é um fenómeno

expansivo, caso esta acontecesse numa fase posterior, após o endurecimento da argamassa, provocaria a rotura da argamassa endurecida. A reação de presa da cal hidráulica deve-se à hidratação e consequente cristalização do silicato bicálcico e aluminato monocálcico. (Branco, 2010).

As cal hidratadas podem ser classificadas como naturais e artificiais, dependendo dos seus processos de transformação. A cal hidráulica natural (NHL) é produzida por calcinação de calcários mais ou menos argilosos ou siliciosos e posterior redução a pó por extinção com ou sem moagem.

As cal hidráulicas ainda podem ter uma classificação baseada na composição química para cals aéreas, cálcicas (CL) e dolomíticas (DL), no entanto, a NP EN 459-1: 2011, classifica as cals hidráulicas em função da sua resistência à compressão. (Alberto, 2014; Branco, 2010).

### **2.2.3 Água de amassadura**

A água da amassadura, é o único elemento não sólido utilizado na preparação de uma argamassa, e irá funcionar como elemento de ligação química entre todos os outros componentes, servindo de catalisador em algumas reações químicas, nomeadamente a hidratação do ligante. (Tomás, 2011).

A quantidade de água adicionada nem sempre é fácil de determinar, no entanto, deve ser a necessária para conferir uma trabalhabilidade e consistências adequadas à argamassa, tendo sempre em atenção a resistência à compressão da mesma, que diminui com o aumento de água. Se por um lado, o uso excessivo de água reduz significativamente a consistência e resistência da argamassa, por outro, quando a quantidade é insuficiente, pode-se obter uma amassadura pouco homogénea, o que não é desejável em termos da qualidade final da argamassa, daí que seja fundamental obter a quantidade certa de água. (Ferreira, 2011).

A água a ser utilizada deve ser límpida, incolor, isenta de impurezas, nomeadamente de sais nocivos, e isenta de matéria orgânica. Assim, deve-se evitar a utilização de águas salobras, água do mar e de águas impróprias para o consumo, uma vez que podem ser responsáveis pela baixa resistência mecânica da argamassa. A temperatura da água exerce influência no tempo de presa da argamassa, motivo pelo qual, se deve utilizar a água a uma temperatura entre os 7°C e os 30°C, pois o processo de presa é acelerado a temperaturas elevadas, acontecendo o inverso para temperaturas baixas. (Pavão, 2010).

### **2.2.4 Agregados não correntes**

O sector da construção exige um grande consumo de recursos, principalmente de matérias e energia, que por sua vez são altamente poluentes, gerando grandes emissões de CO<sub>2</sub>. Neste sentido, encontramos-nos numa fase exploração de novos materiais naturais que possam vir a

ser aplicados na construção, de modo a contribuir para a sua sustentabilidade, contribuindo para uma estabilidade ambiental, social e económica.

No caso específico das argamassas, tem vindo a ser estudado o uso de materiais alternativos às areias artificiais e naturais como substituinte total ou parcial. Dentro dos materiais de substituição, destacam-se os resíduos cerâmicos e resíduos provenientes da indústria, que usados com uma granulometria semelhante à da areia, podem conferir à argamassa características específicas, que não obteria se fosse apenas uma argamassa corrente. (Duarte, 2011).

Os materiais vegetais, como é o caso do cânhamo, palha, linho, bambu, tecidos animais e cortiça, também tem vindo a ser estudados e alguns já são utilizados correntemente na produção de argamassas, betões e painéis de isolamento. As propriedades dos materiais reforçados com estas fibras naturais são afetadas por vários fatores, nomeadamente a geometria, distribuição e orientação das fibras com o meio envolvente, adesão entre as fibras e os restantes materiais, forma e tamanho das fibras.

## **2.3 Argamassas de revestimento para edifícios**

### **2.3.1 Considerações gerais**

Os revestimentos exteriores das fachadas dos edifícios contribuem de forma significativa para a proteção das paredes, quando estas são sujeitas às ações climatéricas, ambientais, mecânicas e biológicas. Neste sentido, os revestimentos sofrem uma maior deterioração, relativamente aos outros elementos construtivos, sendo necessária a sua substituição parcial ou integral, em alguns casos. Para tal, os revestimentos de argamassa podem ser divididos em duas categorias, o revestimento de argamassa recente e o revestimento de argamassa de substituição ou reparação. O primeiro é conhecido como o reboco tradicional, que para apresentar boa qualidade e bom funcionamento ao longo do ciclo de vida, requer algumas exigências de execução, sendo então necessário mão-de-obra mais qualificada para o efeito, uma vez que este é realizado e aplicado em várias camadas. (Ferreira, 2011).

O revestimento de argamassa de substituição ou reparação é utilizado na correção de algumas patologias dos revestimentos existentes, através da sua substituição ou reparação, parcial ou total. A escolha destas argamassas deve ser executada corretamente, de modo a serem compatíveis com as alvenarias já existentes e a desempenhem corretamente as suas funções. (Alberto, 2014).

### **2.3.2 Funções e requisitos a exigir a argamassas de revestimento**

Os revestimentos de argamassa devem desempenhar várias funções fundamentais, onde se destacam: (Veiga, 2005 e Martins, 2010).

- ✓ Regularização das alvenarias, com vista a criar uma superfície uniforme e isenta de imperfeições, capaz de receber os revestimentos finais;
- ✓ Acabamento dos paramentos;
- ✓ Proteção da envolvente dos edifícios da ação direta dos agentes externos, potencialmente deteriorantes;
- ✓ Impermeabilização das fachadas, no sentido de contribuir para a estanquidade das paredes exteriores à ação de gases e da água.

De modo a garantir estas funções, os requisitos mais significativos a prescrever aos revestimentos de paredes exteriores, relacionam-se com a questão de durabilidade e adequabilidade, e são:

- ✓ Capacidade de impermeabilização em zona não-fendilhada;
- ✓ Resistência à fendilhação;
- ✓ Resistência mecânica;
- ✓ Capacidade de promover a expulsão do vapor de água formado no interior e da água infiltrada, por evaporação;
- ✓ Boa aderência ao suporte;
- ✓ Durabilidade face às ações externas, nomeadamente às ações climáticas;
- ✓ Aspeto estético aceitável (implica resistência à fendilhação e homogeneidade de textura);
- ✓ Capacidade de regularização.

### **2.3.3 Argamassas de revestimento para edifícios recentes**

No início século XX generalizou-se o uso do cimento Portland como ligante para argamassas, tornando-se o ligante mais utilizado até aos dias de hoje, deixando de fora as argamassas de cal. Estas argamassas são utilizadas na construção recente e a sua principal aplicação é em juntas de paredes de alvenaria, bem como o seu revestimento interior e exterior.

A utilização do cimento Portland, como ligante, tem as suas vantagens, principalmente a sua elevada resistência, e desvantagens. No entanto, estas argamassas cimentícias não são a melhor opção para obras de reabilitação de edifícios antigos, que é uma realidade cada vez maior nos dias de hoje, uma vez que não oferecem compatibilidade com os outros materiais, sendo necessário recorrer novamente a revestimentos à base de cal, que possuem uma esperança de vida muito mais elevada e uma maior compatibilidade. (Tomás, 2011).

Estes rebocos de cimento podem ser divididos em dois grandes grupos: os rebocos tradicionais e os não tradicionais.

Os rebocos tradicionais são os revestimentos de paredes mais comuns aplicados em Portugal, nomeadamente em fachadas de edifícios. No entanto, por vezes, torna-se difícil obter uma argamassa que responda adequadamente a todas as exigências funcionais, recorrendo-se à

aplicação de várias camadas de reboco, onde cada uma apresenta uma característica específica, de modo a que, no seu todo, o reboco apresente uma boa solução para as solicitações a que está sujeito.

Deste modo, o reboco tradicional é constituído por três camadas: salpisco, camada base e camada de acabamento. A primeira camada, o salpisco, tem como objetivo fornecer boa aderência ao suporte, concedendo-lhe uma rugosidade que colabore para a ligação mecânica com a alvenaria e obtendo assim, uma homogeneização da absorção do suporte. Esta camada deve ser mais rica em teor de cimento do que as restantes, deve ser aplicada de modo a constituir uma camada descontínua, de espessura delgada, irregular e rugosa, de modo a garantir boa aderência à camada seguinte. A camada de base, ou emboço, contribui para a regularização e impermeabilização da parede, sendo por vezes, necessário aplicar mais que uma camada. Esta deve ser constituída por uma argamassa pouco rica em cimento, compacta e com teor significativo de grãos grossos, de modo a minimizar a fendilhação e contribuir para uma boa capacidade de impermeabilização e de regularização. Por fim, aplica-se a camada de acabamento, ou reboco, que está direcionada para a proteção das camadas subjacentes e confere um acabamento esteticamente aceitável. Neste sentido, é uma camada mais fina constituída por uma argamassa de agregados de menor granulometria e com menor teor de cimento do que a camada subjacente. (Martins, 2008 e Gonçalves, 2010).

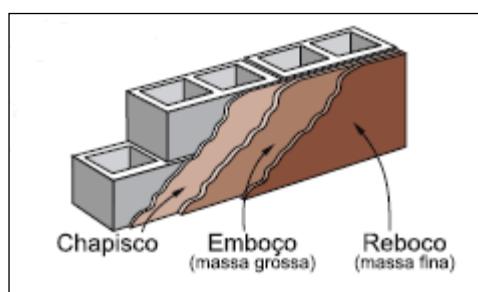


Figura 2.2 – Aplicação das várias camadas do reboco tradicional.

Os rebocos não-tradicionais surgem devido a deficiências dos rebocos tradicionais, já apresentadas em cima. De entre este tipo de rebocos, é de salientar os revestimentos monocamada, que substituem os rebocos tradicionais e pintura, desempenhando em simultâneo, funções de proteção e decoração. Estes revestimentos são constituídos por ligantes e cargas minerais, devidamente selecionadas, e enriquecidos com adjuvantes, resistindo de forma mais eficiente à fendilhação que os rebocos tradicionais. As vantagens destes revestimentos são a facilidade e rapidez de aplicação, juntamente com uma qualidade superior, no entanto, apresentam um custo bastante elevada e exigem mão-de-obra qualificada, tornando-se assim numa solução pouco utilizada. (Martins, 2008).



#### **2.3.4 Argamassas de revestimento para edifícios antigos**

Pelo que já foi referido anteriormente, a escolha e aplicação de argamassas de substituição ou reparação tem de ser realizada de forma correta, de modo a não criar novas patologias ou agravar as existentes. Neste sentido, a escolha da argamassa de substituição depende fundamentalmente da sua compatibilidade mecânica, física e química com os restantes elementos. (Veiga, 2002 e Duarte 2011).

Segundo Duarte (2011), que referencia Blinda e Baronio (1997), as argamassas de substituição devem apresentar uma resistência mecânica e aderência moderada, módulo de elasticidade reduzido, coeficiente de dilatação térmica semelhante ao das argamassa existentes, resistência a sais e baixo teor em sais solúveis, absorção moderada de água, resistência à penetração de água, porosidade moderada, serem resistentes a variações térmicas. Outra razão que leva à utilização destas argamassas de cal está relacionada com o facto de as alvenarias antigas serem constituídas por tijolos muito absorventes, contribuindo assim para uma retração demasiado rápida devido à absorção da água existente na argamassa, caso se utilizasse argamassas de cimento, pondo em causa o desempenho da argamassa.

#### **2.3.5 Principais patologias nos rebocos de edifícios antigos**

De modo a garantir que as argamassas de reboco mantenham as suas características fundamentais, é necessário conhecer as patologias a que estas estão sujeitas, bem como as suas formas de manifestação e possíveis causas. Deste modo, o conhecimento sobre essas patologias é importante pois contribui para um diagnóstico apropriado, bem como uma boa conceção e aplicação para o processo de conservação e reparação.

As anomalias apresentam várias formas de degradação e origens distintas. Contudo, pode-se afirmar de uma forma geral, que as principais causas estão relacionadas com o envelhecimento dos materiais. As patologias podem ainda surgir devido a causas estruturais, que podem ser estáticas ou dinâmicas ou devido a causas não-estruturais dos materiais, que surgem com mais regularidade do que a anterior, que apresentam um carácter químico, relacionado com reações químicas que ocorrem entre os sais solúveis e outros componentes, ou físico, como é o caso de retração provocada pela evaporação de água por secagem ou absorção por capilaridade. (Faria, 2004).

Segundo Magalhães (2002), as anomalias mais comuns em rebocos de edifícios antigos estão relacionadas com fenómenos de humidade, fendilhação ou fissuração, eflorescências e criptoflorescências, biodegradação, erosão e sujidade.

A humidade é o agente de degradação que mais afeta os materiais de construção, sendo a causa primária de muitas anomalias, e condiciona a ação de outros agentes de degradação, como é o caso de gases poluentes, da biodegradação e das eflorescências e

criptofluorescências, que se traduzem no aparecimento de cristais devido à presença prolongada de humidade e à presença de sais solúveis no reboco, no suporte ou na água.

As anomalias que surgem em fachadas antigas relacionadas com a fendilhação ou a fissuração, podem ser visíveis através do aparecimento de uma abertura longitudinal que atravessa a espessura do reboco, chegando mesmo a rompê-lo. Este fenómeno deve-se à retração do reboco, dilatações e contrações higrotérmicas, presença de gelo e a uma incorreta execução do reboco, no que diz respeito à espessura e dosagem, uma vez que a realização de argamassas ricas em cimento, com elevados teores de finos e com um excesso de água, apresentam uma maior facilidade em fendilhar.

A erosão, ou seja, a destruição ou destaque de reboco, também é uma anomalia predominante nos rebocos antigos. Este fenómeno surge mais uma vez, devido à presença de humidade, à ação dos esforços mecânicos, e a ações físicas dos agentes atmosféricos. Por fim, existem anomalias relacionadas com a presença de sujidade nos rebocos, que surgem, principalmente, devido as escorrimentos e ao vento, quando este transporta partículas indesejáveis.

### 2.3.6 Características das argamassas e compatibilidade com o suporte

Segundo Duarte (2011), que refere Veiga (2003), as argamassas de substituição ou reparação apresentam valores estabelecidos para as características mecânicas e ao comportamento da água nas argamassas. Estes valores são apresentados no seguinte quadro.

Quadro 2.1 – Requisitos para argamassas de substituição ou reparação.

| Uso             | Características Mecânicas (Mpa) |           |           | Aderência (MPa)                         | Comportamento à retração restringida (90 dias) |          |       |           | Comportamento à água |  |
|-----------------|---------------------------------|-----------|-----------|---|--|----------|-------|-----------|----------------------|--|
|                 | Rt                              | Rc        | E         |   | Fr <sub>máx</sub> (N)                          | G (N.mm) | CSAF  | CREF (mm) | Ensaio clássico      |  |
|                 |                                 |           |           |   |  |          |       |           | S <sub>D</sub> (m)   | C (kg/m <sup>2</sup> .h <sup>1/2</sup> ) |
| Reboco exterior | 0,2 - 0,7                       | 0,4 - 2,5 | 2000-5000 | 0,1 – 0,3 ou rotura coesiva pelo reboco | < 70   | > 40     | > 1,5 | > 0,7     | < 0,08               | > 8; < 12                                |
| Reboco interior | 0,2 - 0,7                       | 0,4 - 2,5 | 2000-5000 |   | < 70   | > 40     | > 1,5 | > 0,7     | < 0,10               | -  |
| Juntas          | 0,4 - 0,8                       | 0,6 - 3   | 3000-6000 | 0,1 – 0,5 ou rotura coesiva pela junta  | < 70   | > 40     | > 1,5 | > 0,7     | < 0,10               | > 8; < 12                                |

Rt – Resistência à tração; Rc – Resistência à compressão, E – Módulo de elasticidade; Fr<sub>máx</sub> – Força máxima induzida por retração restringida; G – Energia de rotura à tração; CSAF – Coeficiente de segurança à abertura da primeira fenda; CREF –

Coefficiente de resistência à evolução da fendilhação;  $S_D$  – Espessura da camada de ar de difusão equivalente (valor relacionado com a permanência); C – Coeficiente de capilaridade.

Como já foi referido anteriormente, os rebocos de substituição devem apresentar algumas características físicas, químicas e mecânicas muito semelhantes e compatíveis com as do suporte onde irão ser aplicados. Assim, existem alguns critérios que devem ser verificados, nomeadamente, o seu módulo de elasticidade deverá ser menor ou igual ao do suporte, decrescendo do interior para o exterior nas várias camadas que o constituem; as argamassas devem apresentar uma trabalhabilidade aceitável, sem que para tal seja necessário adicionar água em excesso; devem ganhar presa num espaço de tempo aceitável e ter retrações baixas, apresentando coeficientes de variação dimensional, por ações térmicas, similares ao suporte. A durabilidade dos rebocos deve ser a mais elevada possível, partindo do pressuposto que são materiais de desgaste e que a sua função principal é a proteção das paredes, e devem reversíveis, sempre que se destinem a ser aplicados em edifícios que constituam património histórico ou cultural, não devem prejudicar a apresentação visual da arquitetura, nem descaracterizar o edifício.

## 2.4 Fibras naturais

### 2.4.1 Considerações gerais

Atualmente, existe um desenvolvimento de novas técnicas constutivas, baseado no estudo de novos materiais de construção, que contribuem para a sustentabilidade do sector, de modo a reduzir os impactos ambientais, económicos e sociais.

Estes novos materiais, denominados por materiais compósitos, resultam dos materiais tradicionais de construção, como argamassas, betões e painéis MDF, aos quais são adicionados novos produtos, nomeadamente, resíduos cerâmicos, resíduos industriais, fibras metálicas, sintéticas, naturais, entre outras, com o objetivo de melhorar algumas das suas características.

No caso das argamassas (material a ser estudado ao longo deste trabalho), estas podem ser reforçadas com fibras naturais, como já acontece desde o início da construção, uma vez que os materiais de terra utilizados na construção de alvenarias antigas, apresentam este tipo de fibras. (Teixeira, 2014)

As fibras melhoram o comportamento das argamassas, aumentando a resistência à tração e diminuindo a sua retração, o que contribui para um aumento da sua duração. No entanto, o uso de argamassas reforçadas com fibras contribui para uma construção sustentável, como já foi referido, uma vez que aproveita resíduos, tais como a casca ou palha de cereais, refugo de lã, penas ou crinas, mas também utiliza materiais de origem natural.

Esta temática tem vindo a ser estudada por vários autores, como é o caso de Di Bella et al. (2014), referenciado por Santos (2014), que comparou o comportamento entre fibras naturais (sisal e cânhamo) e fibras sintéticas (fibras de polipropileno de alta densidade) em argamassas de cal hidratada, e concluiu que a introdução de fibras naturais reduz significativamente a retração inicial devido à evaporação da água. No entanto, a resistência aos ciclos gelo/degelo, diminui bastante devido à sensibilidade que estas apresentam à água. A adição de fibras naturais também diminui a massa volúmica das argamassas comparativamente com as fibras sintéticas, tornando as fibras naturais numa alternativa viável. (Santos, 2014).

#### **2.4.2 Tipos de fibras**

Como já foi referido, as fibras contribuem para um melhoramento do comportamento das argamassas, no entanto, apresentam várias características que condicionam a sua utilização, sendo necessário avaliar o modo como essas propriedades químicas, físicas e mecânicas contribuem para a melhoria do compósito.

Deste modo, existem vários tipos de fibras a serem utilizados na construção, como é o caso das fibras metálicas (aço), que incluem fibras de diversas formas; fibras de vidro; fibras sintéticas (polipropileno, polietileno, náilon, carbono), que são produzidas em fábrica através de produtos da indústria petroquímica e as fibras naturais que são normalmente encontradas na natureza.

#### **2.4.3 Fibras naturais**

As fibras naturais podem ser dadas em três categorias, fibras vegetais, fibras animais e fibras minerais, dependendo da sua origem. No entanto, este subcapítulo só aborda as fibras naturais de origem vegetal, pelo facto de terem sido utilizadas no trabalho experimental.

A utilização de materiais de construção reforçados com fibras naturais já é uma prática bastante comum nos dias de hoje. A utilização destas fibras tem vindo a crescer, pois estas apresentam algumas características positivas, nomeadamente o facto de terem uma baixa densidade, um elevado fator forma (será explicado no subcapítulo 2.4.4.2), não são prejudiciais à saúde, como acontece com outras fibras, são facilmente recicláveis, apresentam uma natureza renovável, uma vez que se encontram em grandes variedades e quantidades, têm um baixo consumo energético e elevada flexibilidade no processamento dos compósitos, e apresentam um baixo custo (Esteves, 2009).

No entanto, as fibras naturais apresentam algumas desvantagens quando comparadas com outras. Estas apresentam uma elevada capacidade para absorção de humidade, devido à sua natureza hidrófila que, além de comprometer a estabilidade dimensional dos compósitos, cria condições propícias para desencadear os processos de degradação biológica das fibras. Apresentam uma fraca adesão interfacial com alguns polímeros, uma vez que a sua natureza

hidrófila torna-as incompatíveis com polímeros de natureza hidrófoba. Por fim, a qualidade deste tipo de fibras é variável, dependendo de influências imprevisíveis, como as condições climáticas, o que se traduz na variabilidade das propriedades físicas e mecânicas das fibras. (Esteves, 2009).

#### **2.4.4 Características das fibras**

As fibras apresentam várias propriedades que condicionam o comportamento das argamassas, nomeadamente o seu teor, geometria, distribuição, orientação, resistência mecânica e módulo de elasticidade.

##### **2.4.4.1 Teor de fibras**

A trabalhabilidade de uma argamassa diminui significativamente com o aumento do número de fibras na mistura, sendo então necessário, analisar a influência desse volume ou teor de fibras na mistura final, independentemente do tipo de fibras.

O teor de fibras pode ser obtido em percentagem, em função da massa do ligante da mistura, e não deve apresentar valores bastantes elevados, uma vez que pode ocorrer uma diminuição significativa da trabalhabilidade da argamassa e conseqüentemente a diminuição das suas propriedades mecânicas. No entanto, se existir um teor de fibras bastante reduzido, pode não haver nenhum melhoramento no comportamento da argamassa, que seria imposto pela adição de fibras. (Henriques, 2013).

Analisando vários trabalhos que abordam esta temática, verificou-se que todos utilizavam um teor de fibras próximo. Assim, define-se a um teor de fibras ideal a utilizar nas misturas, que corresponde ao valor mínimo de 5% e ao valor máximo de 20%.

##### **2.4.4.2 Geometria das fibras**

A geometria das fibras é uma característica bastante importante a ser considerada, uma vez que estas apresentam diversas formas, secções e variações de comprimento. De modo a definir a geometria das fibras é necessário calcular o seu fator de forma, que estabelece a relação entre o comprimento da fibra e o seu diâmetro.

As fibras, ainda se podem classificar como lisas ou rugosas (com ancoragem), o que tem uma grande influência na aderência e durabilidade das argamassas. Segundo Figueiredo (2000), as fibras rugosas, com ancoragem, devem atuar como elemento de transferência de tensões nas fissuras, e deve ter um comprimento facilite o seu posicionamento em relação à fissura, como mostra a Figura 2.4.

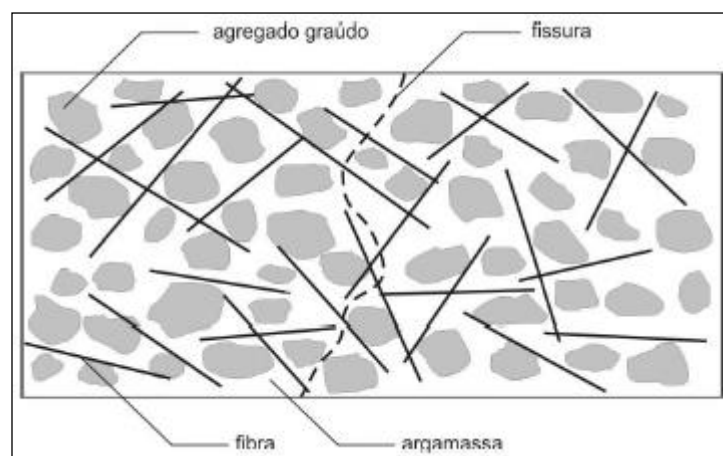


Figura 2.3 – Transferência de tensões numa fissura (Henriques, 2013).

#### 2.4.4.3 Distribuição e orientação das fibras

Uma das características que condicionam o comportamento das argamassas, é a distribuição das fibras. No caso de estas apresentarem uma distribuição heterogénea, poderá existir uma grande variação do seu teor ao longo da mistura, contribuindo para uma alteração das propriedades mecânicas da argamassa.

No entanto, não é só a distribuição das fibras que condiciona o comportamento da argamassa, mas também a sua orientação, que é determinante na resistência à flexão, à compressão, à tração e ao cisalhamento. Neste sentido, as fibras longas apresentam uma maior capacidade de orientação, pois encontram-se todas alinhadas na mesma direção, o que não acontece no caso de fibras curtas. (Henriques, 2013).

#### 2.4.4.3 Resistência mecânica e módulo de elasticidade das fibras

Por fim, o comportamento das argamassas também é influenciado pelo módulo de elasticidade das fibras, pelas suas dimensões e pela sua resistência à tração. Segundo Bernardi (2003), as fibras com um elevado módulo de elasticidade e resistência à tração, como é o caso das fibras de vidro, aço e carbono, tendem a proporcionar um acréscimo de resistência ao compósito, já as fibras que apresentam um módulo de elasticidade mais reduzido (fibras de celulose, nylon, polipropileno), tendem a aumentar a sua resistência ao impacto, uma vez que resistem a grandes deformações.

Quando o módulo de elasticidade dos materiais que constituem a argamassa é maior do que o das fibras, estas tendem a apresentar uma capacidade de reforço muito limitada. Isto deve-se ao facto de a mistura inicial adquirir uma elevada resistência, fazendo com que as fibras só atuem como reforço na fase inicial e num curto espaço de tempo. (Figueiredo, 2000)

## 3 ANÁLISE EXPERIMENTAL

### 3.1 Descrição dos procedimentos experimentais

#### 3.1.1 Caracterização da matéria-prima

Nesta campanha experimental utilizou-se, como matéria-prima, a areia do rio, usada como agregado, o cimento e a cal hidráulica, atuando como ligantes, e fibras de acácia, que serviu de material de reforço da argamassa.

A areia do rio utilizada já se encontrava em laboratório, e apresentava um aspeto limpo, livre de detritos que pudessem afetar de alguma maneira, os resultados deste estudo. Como ligante, também se utilizou material disponível no laboratório, nomeadamente cimento Portlnad e cal hidráulica natural NHL 3,5.



Figura 3.1 - Processo de transformação das fibras de acácia.

Os troncos de acácia mimosa foram recolhidos na zona de Abrantes e posteriormente levados para laboratório, onde sofreram um processo de transformação, até chegar ao seu estado final. Inicialmente, retirou-se a casca dos troncos, com o auxílio de um x-acto, e esta foi colocada em tiras, dentro de dois tabuleiros, para seguidamente irem para uma camara climática, com uma temperatura controlada de 50°C, onde permaneceram durante 3 dias. Ao fim de estarem completamente secas, as fitas de casca passaram por um processo de moagem, através um moinho mecânico existente no laboratório. A casca foi inserida no moinho e passada por um crivo de 4mm, criando assim fibras com esse diâmetro médio. No decorrer deste processo, algumas partes da casca não sofreram uma moagem tão exata, criando assim, fibras com outras dimensões. Estas fibras foram retiradas e inutilizadas, de modo a não afetar qualquer resultado dos ensaios realizados.

Pelo facto de este ser o primeiro trabalho realizado sobre a utilização de fibras de acácia na construção, analisou-se, inicialmente, vários trabalhos práticos e dissertações sobre a utilização de vários tipos de fibras naturais em argamassas e betões, nomeadamente a informação relativa às dimensões das fibras e à sua proporção na mistura final, que será descrito detalhadamente no subcapítulo 3.1.2. Deste modo, e pelas razões descritas em cima, estas duas características, dimensão e proporção, foram arbitradas para valores análogos, dos trabalhos analisados.

Neste trabalho não houve a necessidade de realizar uma caracterização granulométrica dos elementos que irão servir de agregado, uma vez que se trata apenas de um, da areia do rio, e essa análise já havia ter sido feita no âmbito de outras dissertações. Neste sentido, só são apresentadas as aberturas dos peneiros da análise granulométrica e a curva granulométrica da areia do rio, que foram obtidos através de dados relativos à granulometria da areia, disponibilizados pelo ITeCons, e através de dissertações já realizadas.

Quadro 3.1– Dados sobre a granulometria da areia do rio.

| Peneiro (mm) | Massa da areia retida (g) | Massa da areia que passa (g) | Percentagem cumulativa que passa (%) |
|--------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| 6,3          | 0,000                     | 271,48                       | 100,0                                |
| 4            | 0,520                     | 270,96                       | 99,8                                 |
| 2            | 14,426                    | 256,53                       | 94,5                                 |
| 1            | 68,171                    | 188,36                       | 69,4                                 |
| 0,5          | 116,016                   | 72,34                        | 26,6                                 |
| 0,25         | 69,898                    | 2,45                         | 0,9                                  |
| 0,125        | 2,140                     | 0,31                         | 0,1                                  |
| 0,063        | 0,279                     | 0,03                         | 0,0                                  |
| ≤ 0,063      | 0,029                     | 0,00                         | 0,0                                  |
| ∑ Massa (g)  | 271,477                   |                              |                                      |

A curva granulométrica, representada na Figura 3.2, é obtida determinando a percentagem cumulativa do material passado em cada peneiro, através da expressão:

$$\text{Percentagem cumulativa} = \left(100 - \frac{R_i}{M_i} \cdot 100\right)$$



Sendo,

$R_i$  - massa do material retido, [g];

$M_i$  - massa seca do provete, [g];

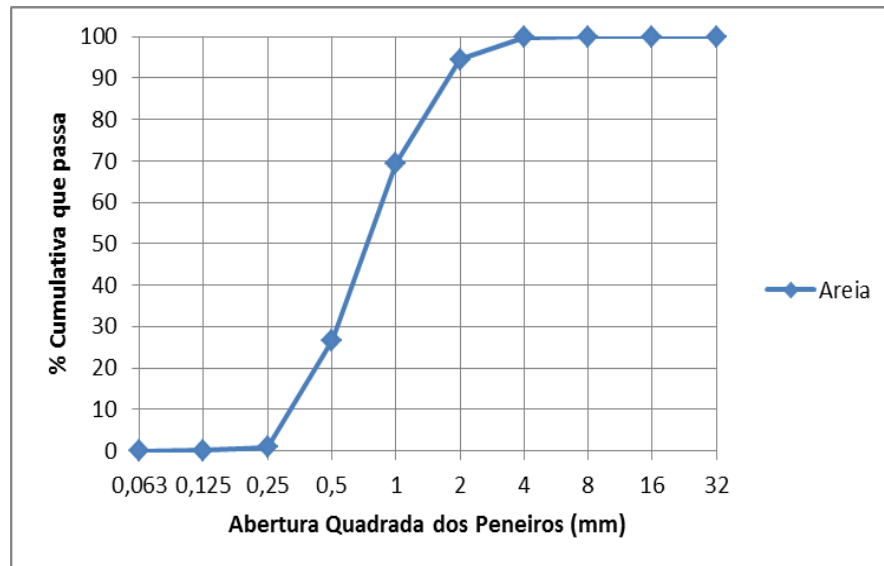


Figura 3.2 – Curva granulométrica da areia.

### 3.1.2 Baridade das matérias-primas

A baridade é definida como o quociente entre a massa do agregado seco preenchendo sem compactação um dado recipiente pela capacidade do recipiente.

A determinação da baridade dos materiais deste estudo deveria ter sido efetuada de acordo com a norma NP EN 1097-3:2002 (IPQ, 2002), através da expressão:

$$b = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad [g/cm^3]$$

Sendo,

$m_1$  - massa do recipiente vazio, [g];

$m_2$  - massa do recipiente e do provete elementar, [g];

V- capacidade do recipiente, [ $cm^3$ ];

No entanto, este ensaio não foi realizado, pois só seria necessário determinar a baridade da areia do rio, do cimento e da cal hidráulica. A análise para estes materiais já havia ter sido feita no âmbito de outras dissertações, de modo que só serão apresentados os valores da baridade dessas matérias-primas.

Quadro 3.2 – Dados sobre a granulometria da areia do rio.

| Material         | Baridade (g/cm <sup>3</sup> ) |           |           | Baridade média (g/cm <sup>3</sup> ) |
|------------------|-------------------------------|-----------|-----------|-------------------------------------|
|                  | Medição 1                     | Medição 2 | Medição 3 |                                     |
| Areia            | -                             | -         | -         | 1,42                                |
| Cal Aérea        | 0,82                          | 0,82      | 0,80      | 0,81                                |
| Cimento Portland | 1,06                          | 1,10      | 1,06      | 1,07                                |

Analisando os valores no Quadro 3.2, verifica-se que a areia do rio apresenta o maior valor de baridade, enquanto a cal é o material que tem o menor valor da baridade.

### 3.1.3 Preparação das argamassas

Para este trabalho experimental prepararam-se seis misturas distintas de argamassa, com traço volumétrico 1:3, sendo três misturas de argamassa de cimento e três misturas de argamassa de cal hidráulica natural, NHL 3,5. Inicialmente, realizaram-se as duas argamassas de referência e nas restantes misturas foram adicionadas fibras de acácia, em percentagem de 5% e 10%, em função da massa do ligante, tal como está representado no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Caracterização das argamassas em estudo.

| Argamassa   | Designação | Percentagem de fibras de acácia (%) | Traço volumétrico |
|---|------------|-------------------------------------|-------------------|
| Argamassa de cimento de referência                      | C0CA       | 0                                   | 1:3               |
| Argamassa de cimento com 5% de fibras de acácia         | C5CA       | 5                                   | 1:3               |
| Argamassa de cimento com 10% de fibras de acácia        | C10CA      | 10                                  | 1:3               |
| Argamassa de cal hidráulica de referência               | NHL0CA     | 0                                   | 1:3               |
| Argamassa de cal hidráulica com 5% de fibras de acácia  | NHL5CA     | 5                                   | 1:3               |
| Argamassa de cal hidráulica com 10% de fibras de acácia | NHL10CA    | 10                                  | 1:3               |

Quadro 3.4 – Ensaio realizados e respectivos números de provetes.

| <b>Caracterização das argamassas</b>           |  |
|--|--|
| <b>Ensaio de argamassa fresca</b>              | <b>Número de provetes</b>                      |
| 1. Ensaio de consistência por espalhamento     | 1 provete por argamassa                        |
| <b>Ensaio de argamassa endurecida</b>          | <b>Número de provetes</b>                      |
| 1. Ensaio de resistência à tração por flexão   | 3 provetes prismáticos de cada argamassa       |
| 2. Ensaio de resistência à compressão          | 3 provetes prismáticos de cada argamassa       |
| 3. Ensaio de permeabilidade ao vapor de água   | 5 provetes circulares de cada argamassa        |
| 4. Ensaio de absorção de água por capilaridade | 3 meios provetes prismáticos de cada argamassa |
| 5. Ensaio de secagem                           | 3 meios provetes do ensaio anterior (4.)       |
| 6. Ensaio de porosidade aberta                 | 3 meios provetes de cada argamassa             |

A quantidade e o tipo de provetes foram realizados de acordo com os tipos de ensaio a realizar, tal como se pode observar Quadro 3.4.

Na preparação das misturas começou-se por pesar a quantidade de areia necessária, bem como a da cal hidráulica, do cimento e das fibras de acácia, dependendo do tipo de argamassa que se iria realizar, numa balança de precisão de 0,01g. A amassadura de cada tipo argamassa não foi elaborada numa misturadora mecânica, uma vez que a quantidade de argamassa era superior à capacidade a misturadora. Deste modo, e para simplificar a amassadura, foi utilizado um balde comum, onde os vários constituintes secos foram depositados e posteriormente, adicionada a quantidade e água, previamente determinada, com vista a obter uma trabalhabilidade apropriada para cada argamassa em estudo. A mistura realizou-se, através de vários ciclos, com a ajuda de uma espátula mecânica, até se obter uma mistura homogénea.

Com as misturas já elaboradas, realizou-se o primeiro ensaio sobre argamassas frescas, o ensaio de consistência por espalhamento, apresentado detalhadamente no subcapítulo 3.1.3.1. Este ensaio estabelece a trabalhabilidade da argamassa, sendo sempre necessária a sua realização antes de se proceder ao enchimento dos moldes e respetiva cura dos provetes.

De seguida, procedeu-se ao enchimento dos moldes, que foram previamente preparados. Neste caso foram utilizados dois tipos de moldes: os moldes prismáticos, com as dimensões 160x40x40 mm, e os moldes circulares, com 106 mm de diâmetro interno e 15 mm de altura, aproximadamente.

Para a realização dos provetes prismáticos, fixou-se o molde à mesa de compactação mecânica, e com o auxílio de uma espátula mecânica, preencheram-se os três moldes em duas

etapas. Na primeira etapa, os moldes foram preenchidos até metade da sua altura, e de seguida, foram compactados mecanicamente, através de 20 pancadas exercidas pelo sistema de compactação. De seguida, os moldes novamente preenchidos até ao topo e o processo de compactação repetido. Os excessos de argamassa foram retirados dos moldes, e estes foram identificados. Foram realizados seis provetes prismáticos para cada tipo de argamassa, obtendo trinta e seis no total.

Os moldes circulares, que foram previamente preparados, encontravam-se fixos a um suporte de madeira. Os moldes foram preenchidos com argamassa e a compactação fez-se manualmente através de um pilão, com o qual se aplicaram cerca de 10 pancadas sobre o molde e foram rasados com uma rasoira metálica. Foram realizados cinco provetes circulares para cada tipo de argamassa, obtendo trinta no total.

Todos os provetes, prismáticos e circulares, foram posteriormente colocados em condições de humidade e temperatura controlada. Nos primeiros 7 dias, estiveram sob uma temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e uma humidade relativa de  $95 \pm 5\%$ , condicionados dentro de sacos de plástico devidamente fechados para simular estas condições. Ao fim deste tempo, os provetes foram retirados dos moldes, e colocados numa camara climática, a uma temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e uma humidade relativa de  $65 \pm 5\%$ . Os provetes prismáticos de argamassa NHL5CA e NHL10CA só foram desmoldados passado 12 dias, tempo necessário para que estes fossem retirados dos moldes sem provocar a sua desintegração.

### 3.1.3 Ensaio sobre argamassas frescas

#### 3.1.3.1 Ensaio de consistência por espalhamento

Os ensaios de consistência por espalhamento das argamassas frescas, foram realizados tendo em conta a norma EN 1015-3/A1:2004/A2:2006 (CEN,2006). Nesta norma, a consistência por espalhamento é definida como a quantificação da fluidez ou grau de molhagem, de uma dada argamassas, quando submetida a um determinado tipo de tensão.



Figura 3.3 – Realização do ensaio de consistência por espalhamento.

Para este ensaio foram utilizados os seguintes instrumentos: mesa de espalhamento, molde cônico, pilão e espátula metálica. Inicialmente o molde cônico foi colocado exactamente no centro da mesa de espalhamento, sobre um círculo gravado na mesma. Inseriu-se a argamassa no molde cônico em duas fases. Na primeira fase preencheu-se meio molde e na segunda o molde foi preenchido até ao topo, até transbordar. Entre cada fase, compactou-se a argamassa com 10 pancadas, com a ajuda do pilão. No final a argamassa encontrava-se compactada e preenchia todo o molde cônico. De seguida, os excessos de argamassa existentes no topo do molde foram retirados, com a ajuda da espátula metálica, limpou-se cuidadosamente a mesa de espalhamento e o molde cônico. Por fim, retirou-se o molde cônico, verticalmente e rodou-se a manivela do aparelho, de modo a exercer 15 pancadas normalizadas sobre a mesa de espalhamento. Recorreu-se a um paquímetro digital, de precisão 0,01 mm, para determinar o diâmetro da argamassa em duas direcções perpendiculares entre si, registando assim os valores do espalhamento.

Este processo foi repetido para cada tipo de argamassa. Para desvios inferiores a 10% do seu valor médio, a norma recomenda que a consistência seja dada pela média dos diâmetros medidos pelo paquímetro. No caso de ocorrer desvios superiores a 10%, a quantidade de água na argamassa deve ser corrigida, e o ensaio repetido até se obter os valores pretendidos. No Quadro 3.5 estão representados os valores obtidos no ensaio de consistência de argamassas frescas, por espalhamento.

Quadro 3.5 – Caracterização do ensaio de consistência por espalhamento.

| Argamassa | d <sub>1</sub><br>(mm) | d <sub>2</sub><br>(mm) | d <sub>médio</sub><br>(mm) | D.P.  |
|-----------|------------------------|------------------------|----------------------------|-------|
| C0CA      | 159,27                 | 160,28                 | 159,78                     | 0,505 |
| C5CA      | 162,75                 | 160,22                 | 161,49                     | 1,265 |
| C10CA     | 153,22                 | 153,88                 | 153,55                     | 0,33  |
| NHL0CA    | 158,19                 | 161,97                 | 160,08                     | 1,89  |
| NHL5CA    | 157,96                 | 154,47                 | 156,22                     | 1,745 |
| NHL10CA   | 151,45                 | 153,91                 | 152,68                     | 1,23  |

d – espalhamento; D.P. – desvio padrão

Analisando os resultados apresentados, tomando 150 mm como valor de referência da consistência, e considerando um desvio máximo de 10% referido na norma, obteve-se um intervalo para o valor do espalhamento, que varia entre 135 mm e 165 mm. As argamassas em

estudo respeitam a norma deste ensaio, uma vez que os seus valores de espalhamento se encontram no intervalo referido.

### 3.1.4 Ensaio sobre argamassas endurecidas

#### 3.1.4.2 Ensaio de resistência à tração por flexão

O ensaio de resistência à tração por flexão traduz a energia necessária para provocar a rotura do provete por flexão e foi realizado segundo a norma EN 1015-11:1999 (CEN, 1999).

Neste ensaio utilizaram-se os provetes paralelepípedos, com as dimensões 40x40x160 mm. Cada provete foi colocado no equipamento adequado para o ensaio. Os provetes foram cuidadosamente colocados sobre dois apoios, posicionados de forma equidistante, em relação às extremidades laterais dos mesmos.

Foi aplicada uma carga crescente, a taxa constante, em cada um dos provetes, até se atingir a sua rotura. O tempo médio de aplicação de carga em cada um dos provetes foi de 7 segundos. Obteve-se de seguida a resistência à flexão, através da seguinte expressão:

$$R_f = 1,5 \frac{F l}{b d^2} \quad [N/mm^2]$$

Sendo,

$F$  - carga máxima aplicada, [N];

$l$  - distância entre eixos de apoio do provete, [mm];

$b$  - largura do provete, [mm];

$d$  - espessura do provete, [mm].

Sabendo as dimensões dos provetes,  $b = d = 40 \text{ mm}$  e  $l = \frac{2}{3} 160 = 106 \text{ mm}$ , obtém-se a seguinte expressão para o cálculo da resistência à flexão:

$$R_f = 1,5 \frac{F 106}{40 40^2} \quad [N/mm^2]$$

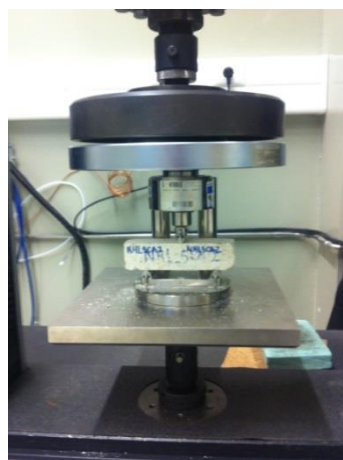


Figura 3.4 – Provette sujeito ao ensaio de resistência à tração por flexão.

Na Figura 3.5 estão representados os valores da resistência à tração por flexão, ao fim de 28 dias, para cada tipo de argamassa em estudo.

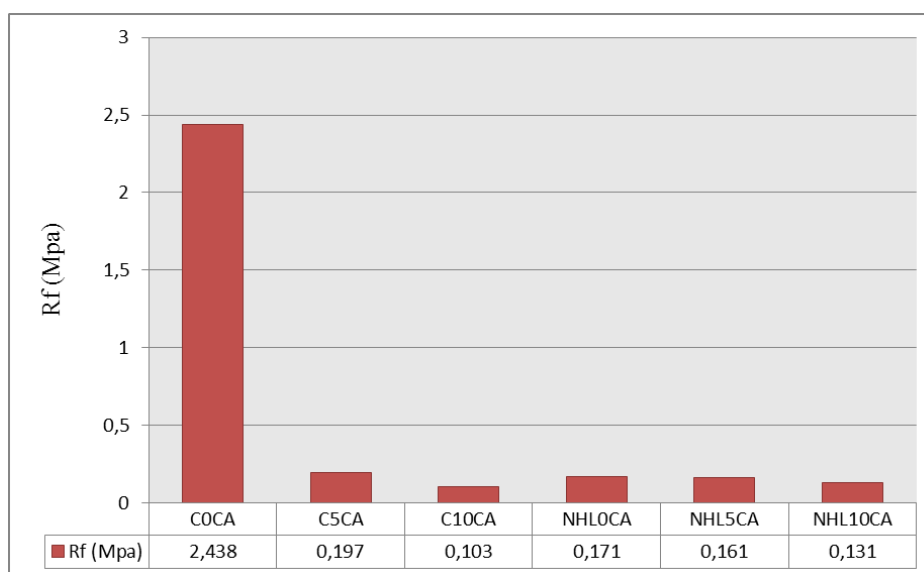


Figura 3.5 – Resistência à tração por flexão aos 28 dias.

Analisando os valores obtidos, pode-se concluir que a adição de fibras de acácia à argamassa de referência, diminui significativamente a resistência à tração por flexão, principalmente nas argamassas de cimento, onde essa diminuição é bastante acentuada. No caso da argamassa de cal, essa redução não é tao significativa, no entanto, esses valores são inferiores ao mínimo imposto, estabelecido no Quadro 2.1, que para um reboco exterior de edifícios antigos exige uma resistência entre 0,2 Mpa e 0,7 Mpa, colocando em causa a sua aplicabilidade.

### 3.1.4.3 Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão, que traduz a energia necessária, aplicada sobre a área do provete, para provocar a sua rotura por compressão, foi realizado segundo a norma EN 1015-11:1999 (CEN, 1999).

Neste ensaio, utilizaram-se as metades dos provetes que resultaram do ensaio de resistência à tração por flexão. Cada provete foi cuidadosamente posicionado no equipamento adequado para o ensaio, apoiado sobre um apoio metálico, de modo a que a face que está contra os apoios e a face que irá receber a carga, sejam as faces que estiveram em cura contra o molde metálico.

Foi aplicada, através do equipamento, uma carga crescente a taxa constante, em cada um dos provetes, até se atingir a rotura. O tempo médio de aplicação de carga em cada um dos provetes foi de 11 segundos. Determinou-se de seguida a resistência à compressão, através da seguinte expressão:

$$R_c = \frac{F}{A_c} \quad [N/mm^2]$$

Sendo,

$F$  - carga máxima aplicada, [N];

$A_c$  - área de carga, [ $mm^2$ ].

Como a área de carga,  $A_c$ , é igual a  $1600 \text{ mm}^2$ , obtém-se a seguinte expressão para o cálculo da resistência à compressão:

$$R_c = \frac{F}{A_c} = \frac{F}{40 \cdot 40} = \frac{F}{1600} \quad [N/mm^2]$$

Na Figura 3.6 estão representados os valores da resistência à compressão, ao fim de 28 dias, para cada tipo de argamassa em estudo.



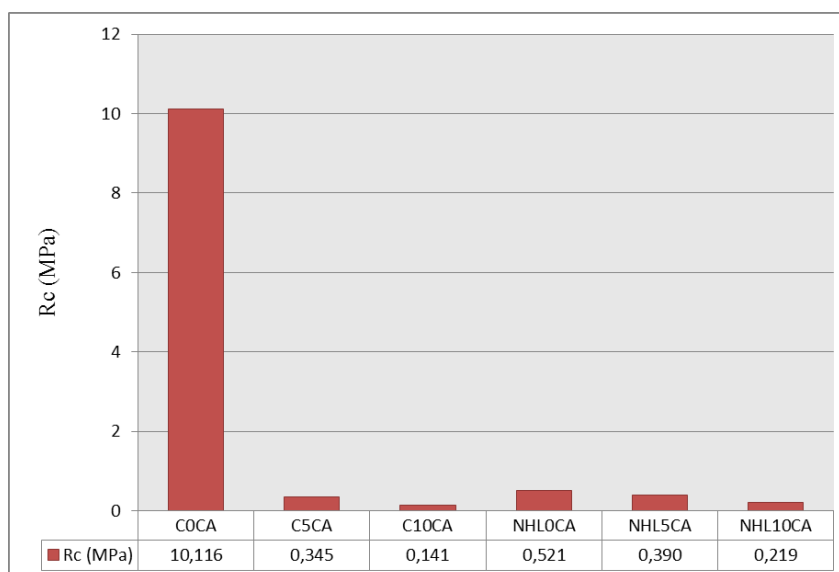


Figura 3.6 – Resistência à compressão por flexão aos 28 dias.

Analisando os valores obtidos, pode-se concluir que a adição de fibras de acácia à argamassa de referência, diminui significativamente a resistência à compressão, principalmente nas argamassas de cimento, onde essa diminuição é bastante acentuada e já era esperada. No caso da argamassa de cal, essa redução não é tao significativa, no entanto, esses valores são inferiores ao mínimo imposto, estabelecido no Quadro 2.1, que para um reboco exterior de edifícios antigos exige uma resistência entre 0,4 Mpa e 2,5 Mpa, colocando, novamente, em causa a sua aplicabilidade.

#### 3.1.4.4 Permeabilidade ao vapor de água

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água foi realizado tendo em conta os procedimentos das normas EN 1015-19:2008 (IPQ, 2008) e ISO 12572:2001 (CEN, 2001) e teve como objectivo determinar a permeabilidade ao vapor de água das argamassas em estudo. A permeabilidade representa a quantidade de vapor de água que se difunde através da argamassa por unidade de tempo e espessura, quando esta é sujeita a uma diferença de pressão nas duas faces (Alberto).

Para a realização deste ensaio é necessário criar de dois ambientes distintos, em cada uma das superfícies do provete, com temperaturas idênticas, mas com humidades relativas muito diferentes, o que gera pressões parciais de vapor de água distintas. Assim, cria-se um fluxo de vapor de água constante através do provete, do interior da tina de água (ambiente húmido) para o exterior (ambiente mais seco).

Neste ensaio foram utilizados provetes circulares com um diâmetro interno de 106 mm aproximadamente. Inicialmente, calculou-se a espessura média de cada provete, através de um

paquímetro digital, de precisão 0,01 mm. Foram realizadas medições em três pontos de cada provete, sendo o valor final, a média das três medições. Os provetes apresentam uma espessura média de 16 mm, respeitando assim a norma EN 1015-19:2008 (IPQ, 2008), que limita este valor entre 10 mm e 30 mm.

Posteriormente, foi calculada a área de superfície exposta de cada provete e obteve-se um valor aproximado de  $0,009 \text{ m}^2$ . Segundo a norma, quando a área de superfície é superior a  $0,005 \text{ m}^2$  e inferior a  $0,02 \text{ m}^2$ , devem ser utilizados 5 provetes. Deste modo foram utilizados 5 provetes circulares, para cada tipo de argamassa.

De seguida, preparou-se o sistema tina-provete para realizar o ensaio. As superfícies laterais de cada provete foram revestidas com uma camada de borracha líquida, de modo a criar uma camada impermeabilizante e garantir um fluxo unidirecional. Os provetes ficaram a repousar durante 24 horas, para garantir a secagem deste revestimento, e de seguida colocou-se fita de papel, sobre a camada de borracha, promovendo uma maior resistência. As tinas, que apresentam o mesmo formato e dimensões dos provetes, foram cheias com água, até 15 mm do bordo. Por fim, solidarizou-se cada provete à respectiva tina, através de fita adesiva de papel e cobriu-se toda a face lateral com parafina, impedindo qualquer passagem de vapor de água pelas laterais, criando um fluxo unidirecional.

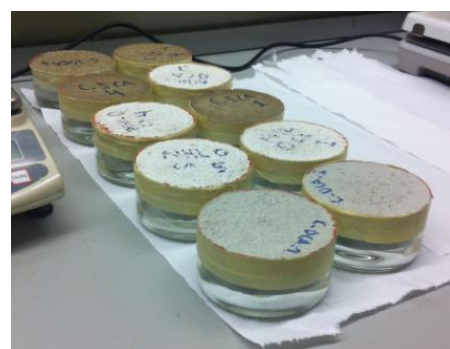


Figura 3.7 – i) Impermeabilização das faces laterais dos provetes; ii) Sistema tina-provete.

Os sistemas tina-provete foram colocados numa câmara climática, com uma temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e uma humidade relativa de  $50 \pm 5\%$ . Realizaram-se pesagens diárias, aproximadamente à mesma hora, recorrendo a uma balança de precisão de 0,01g. As pesagens foram efetuadas até que a variação de massa fosse constante, durante 5 medições seguidas. Admitiu-se que esta relação seria constante quando a sua variação fosse inferior a 5% do valor médio de variação para cada um dos provetes. Determinou-se a taxa de variação de massa através da seguinte expressão:

$$m_{12} = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1} \quad [kg/s]$$

Sendo,

$m_1$  - massa do sistema tina-provete, no instante  $t_1$ , [kg];

$m_2$  - massa do sistema tina-provete, no instante  $t_2$ , [kg];

$t_1$  e  $t_2$  - tempos referentes a duas pesagens consecutivas, [s].

Obtendo uma variação constante, ao fim de 5 medições consecutivas, a variação linear de massa  $m_{12}$ , designa-se por fluxo de difusão de vapor de água. Deste modo, é possível determinar o valor da densidade do fluxo de difusão de vapor de água, através da seguinte expressão:

$$g = \frac{G}{A} \quad [kg \cdot m^2 / s]$$

Sendo,

$A$  - área exposta do provete (média aritmética entre a superfície livre superior e inferior do provete, [ $mm^2$ ]);

$G$  - fluxo de difusão do vapor de água, [kg/s].

A permanência ao vapor de água, que traduz a densidade de fluxo de vapor de água que atravessa a argamassa, é determinada através da seguinte expressão:

$$W = \frac{G}{p_v} \quad [kg / (m^2 \cdot s \cdot Pa)]$$

Em que,

$$p_v = p_{sat} \frac{2}{100} \quad [Pa]$$

Sendo,

$p_{sat}$  - pressão de saturação à temperatura do ensaio, [Pa];

$p_1$  e  $p_2$  - diferença entre as humidades relativas no interior e no exterior da tina de ensaio, [kg/s].

Tendo em conta a norma ISO 12572:2001 (ISSO, 2001), a pressão de saturação é estabelecida através da seguinte expressão:

$$p_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269}{237,3 - T}} \quad [Pa]$$

Sendo,

$T$  - temperatura à qual decorre o ensaio, [°C].

De modo a obter uns resultados mais pormenorizados, foi ainda determinado o valor relativo ao fator de resistência à difusão do vapor de água. Trata-se de um parâmetro adimensional, que indica quantas vezes a resistência à difusão de um provete é maior do que a de uma camada de ar em repouso, de igual espessura e sujeita às mesmas condições ambientais. Este valor é determinado através da seguinte expressão:

$\mu_a$

Sendo,

$\mu_a$  - coeficiente de permeabilidade ao vapor de água, [kg/(m.s.Pa)];

$\mu$  - permeabilidade ao vapor de água, [kg/(m.s.Pa)].

De acordo com a norma ISO 12572:2001 (ISSO, 2001), adotou-se  $\mu_a = 1,95 \cdot 10^{-10}$  [kg/(m.s.Pa)].

Calculou-se também a espessura da camada de ar equivalente, que corresponde à espessura da camada de ar em repouso que possui a mesma resistência à difusão de vapor de água que a argamassa de espessura  $d$ . Este valor foi calculado através da seguinte expressão:

$$s_d = d \cdot \mu_a \quad [m]$$

Sendo,

$d$  - espessura do provete, [m].

No Quadro 3.6 e na Figura 3.8 estão representados os valores da permeabilidade ao vapor de água, o fator de resistência ao vapor de água e a espessura da camada de ar equivalente, para cada tipo de argamassa em estudo, ao fim de 28 dias.

Quadro 3.6 – Permeabilidade ao vapor de água, fatores de resistência ao vapor de água, espessuras da camada de ar equivalente e respectivos desvios padrão aos 28 dias.

| Argamassas | $\delta$ médio $\times 10^{-11}$ (Kg/(m.s.Pa)) | D.P.  | $\mu$ médio | D.P.  | $s_d$ médio (m) | D.P.  |
|------------|--|-------|-------------|-------|-----------------|-------|
| C0CA       | 0,98   | 0,002 | 19,6        | 0,486 | 0,30            | 0,007 |
| C5CA       | 1,72   | 0,003 | 11,3        | 0,210 | 0,18            | 0,001 |
| C10CA      | 2,26   | 0,010 | 8,66        | 0,431 | 0,14            | 0,007 |
| NHL0CA     | 1,82   | 0,008 | 10,7        | 0,494 | 0,17            | 0,008 |
| NHL5CA     | 1,91   | 0,005 | 10,2        | 0,315 | 0,16            | 0,002 |
| NHL10CA    | 1,97   | 0,002 | 9,91        | 0,108 | 0,15            | 0,003 |

- permeabilidade ao vapor de água;  $\mu$  - factor de resistência ao vapor de água;  $s_d$  - espessura da camada de ar equivalente; D.P. – desvio padrão.

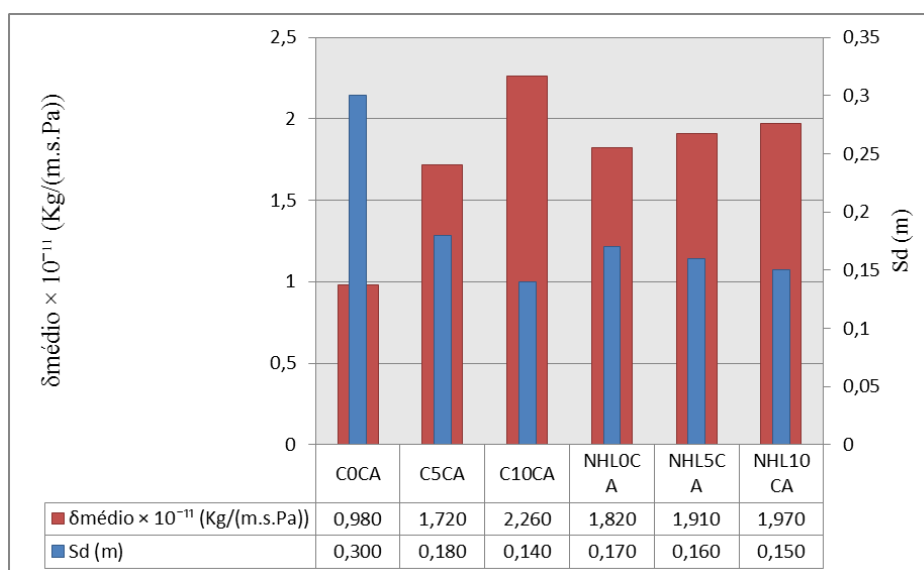


Figura 3.8 – Permeabilidade ao vapor de água e espessura da camada de ar equivalente aos 28 dias.

Analisando os valores obtidos, pode-se observar que as argamassas com um maior teor de fibra de acácia, apresentam uma maior permeabilidade ao vapor de água, face à argamassa de referência, sendo esta diferença mais significativa nas argamassas de cimento. Por outro lado, apresentam uma menor resistência ao vapor de água e espessura da camada de ar equivalente.

#### **3.1.4.5 Determinação da absorção de água por capilaridade**

O ensaio de absorção de água por capilaridade realizou-se tendo em conta a norma EN 1015-18:2002 (CEN, 2002), e teve como objetivo determinar o coeficiente de absorção de água por capilaridade, que representa a massa de água absorvida por área de argamassa em contacto com a água, ou seja a capacidade da argamassa em absorver água, devido à ação de forças de sucção capilar.

Neste ensaio utilizaram-se os meios provetes, com dimensões 80x40x40mm, que resultaram do ensaio de resistência à tração por flexão e que não foram usados no ensaio de resistência à compressão.

Inicialmente os provetes foram colocados numa estufa ventilada à temperatura  $65 \pm 5^\circ\text{C}$ , de modo a obterem uma massa constante, ou seja, uma variação inferior a 0,1% entre pesagens realizadas em intervalos de 24 horas, o que se verificou ao fim de 48 horas.

Posteriormente, as faces laterais dos provetes foram seladas com várias camadas de película plástica, de modo a que a absorção só ocorresse pela base do provete e o fluxo absorvido fosse unidireccional. Os provetes foram pesados numa balança de precisão de 0,01g e as suas massas secas registadas.

Previamente, preparou-se um tanque para a colocação dos provetes em absorção. No fundo do tanque colocou-se um suporte em malha de plástico, de modo a facilitar a ascensão capilar dos provetes por absorção pela base, pois estes não apoiavam diretamente na base do tanque. Adicionou-se água até atingir uma altura entre 5 mm e 10 mm da base dos provetes e fechou-se o recipiente para garantir uma humidade relativa elevada. No decorrer do ensaio, controlou-se sempre a altura da água no tanque, de modo a manter-se constante, recorrendo à adição de água quando necessário, de forma cuidadosa para não salpicar os provetes.

Iniciou-se então o ensaio com a colocação dos provetes, com a face lisa e de menores dimensões, voltada para baixo, sobre o suporte de plástico no fundo do tanque. De seguida realizaram-se pesagens dos provetes aos 5, 10, 15 e 30 minutos, à 1; 1,5; 2 e 3 horas e por fim às 24, 48 e 72 horas. Como estas argamassas absorvem bastante água e de uma forma bastante rápida, nos instantes iniciais do ensaio, tornou-se necessário realizar muitas pesagens, para se obter uma curva de absorção rigorosa onde seja possível avaliar com precisão a evolução da absorção de água nos provetes e detetar os seus pontos de saturação.

Durante o todo o ensaio, o tanque foi mantido fechado de modo a manter as condições de humidade relativa e a reduzir o volume de água evaporada pelos provetes. A tampa do tanque só foi retirada entre as pesagens consecutivas dos provetes.



Figura 3.9 – Medição da massa dos provetes colocados no tanque de água.

As pesagens dos provetes ocorreram de forma individual. Um provete de cada vez foi retirado cuidadosamente do tanque, devido à sua fragilidade, limpo com um papel, para absorver o excesso de água, pesado e colocado novamente dentro do tanque até à próxima pesagem. Este processo foi repetido em todos os provetes durante os intervalos de tempo acima referidos. O ensaio deu-se como concluído quando a variação de massa registada do provete fosse inferior a 1%, entre duas pesagens consecutivas de 24 horas de intervalo, o que ocorreu ao fim de 48 horas. No entanto, como o valor da variação da massa foi muito perto do limite, optou-se por concluir o ensaio ao fim de 72 horas, com a saturação total dos provetes.

De seguida, determinou-se a quantidade de água absorvida por unidade de superfície, para cada provete, através da seguinte expressão:

$$M_i = \frac{m_i - m_o}{S} \quad [kg/m^2]$$

Sendo,

$m_i$  - massa do meio provete ao fim de um determinado tempo  $t_i$ , [kg];

$m_o$  - massa do meio provete seco, no início do ensaio, [kg];

$S$  - secção do provete em contacto com a água (40x40mm), [ $m^2$ ]

Com o valor obtido para cada provete, fez-se a média da quantidade de água absorvida, e traçou-se a curva de absorção capilar, que traduz, em massa, a quantidade de água absorvida por  $m^2$ , em relação à raiz quadrada do tempo  $i$ , em minutos.

Posteriormente, determinou-se coeficiente de capilaridade ( $CC$ ). Graficamente, este coeficiente é representado através da inclinação do primeiro troço linear reto da curva de absorção capilar, expresso em  $kg/m^2$  e traduz a velocidade de absorção de água nos instantes iniciais. Também houve a necessidade de determinar o valor assintótico, que, segundo Ferreira (2011), representa a quantidade total de água absorvida em relação à área de contacto com a água e corresponde ao valor da variação de massa em relação à massa inicial, após atingir a massa constante.

Analicamente, o coeficiente de capilaridade ( $CC$ ) é determinado com base na norma EN 1015-18:2002 (CEN, 2002). Esta considera a massa do provete após 10 e 90 minutos de imersão e determina a inclinação do troço que não se sobrepõe à curva real, pois abrange parte do troço inicial e parte da zona correspondente ao valor assintótico. Segundo esta norma, o coeficiente de absorção de água por capilaridade ( $CC$ ) foi determinado através da seguinte expressão:

$$CC = 0,1 \frac{M_{90min} - M_{10min}}{[kg / (m^2 \cdot min^{0,5})]}$$

Sendo,

$M_{90min}$  - massa do provete após 90 minutos em imersão, [g];

$M_{10min}$  - massa do provete após 10 minutos de imersão, [g].

No Quadro 3.7 estão representados os valores do coeficiente de absorção de água por capilaridade, ao fim de 28 dias, para cada tipo de argamassa em estudo.



Quadro 3.7 – Coeficientes de capilaridade, valores assintóticos e respectivos desvios-padrão.

| Argamassa | CC [kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> )] | D.P. | VA (kg/(m <sup>2</sup> )) | D.P. |
|-----------|---|------|---------------------------|------|
| C0CA      | 1,10  | 0,04 | 16,50                     | 0,22 |
| C5CA      | 0,88  | 0,11 | 15,65                     | 0,32 |
| C10CA     | 0,41  | 0,25 | 15,74                     | 0,00 |
| NHL0CA    | 1,44  | 0,13 | 19,58                     | 0,65 |
| NHL5CA    | 1,65  | 0,23 | 18,76                     | 1,57 |
| NHL10CA   | 1,26  | 0,07 | 18,73                     | 0,77 |

Analisando os dados obtidos pode-se concluir que a adição do teor de fibras reduz o valor do coeficiente de capilaridade nas argamassas de cimento. As argamassas de cal NHL5CA apresentam um aumento do coeficiente, no entanto as argamassas NHL10CA reduzem o seu coeficiente de capilaridade, relativamente à argamassas de referência NHL0CA

Nas Figuras 3.10 e 3.11 estão representados, respetivamente, as curvas de absorção de água por capilaridade, relativas à duração total do ensaio, e à primeira hora do mesmo, ao fim de 28 dias de cura, para cada tipo de argamassa em estudo.

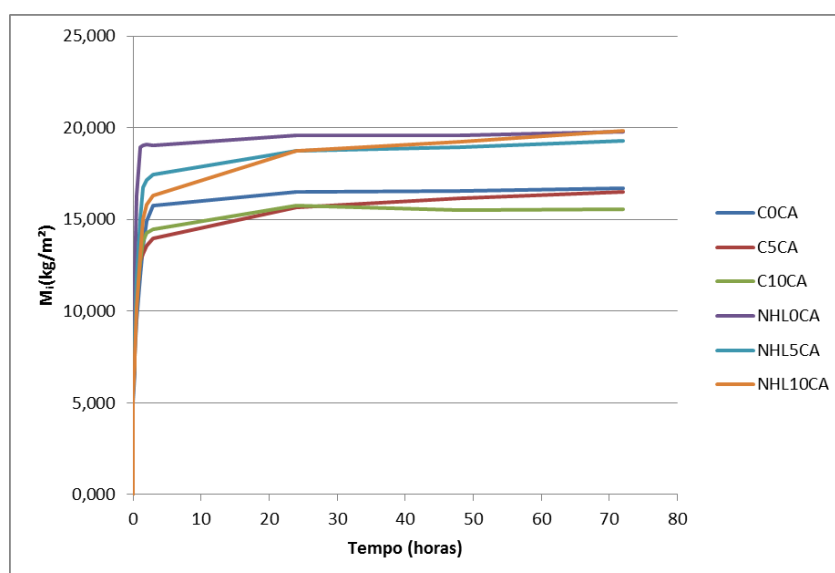


Figura 3.10 – Curvas de absorção de água por capilaridade obtidas no ensaio aos 28 dias.

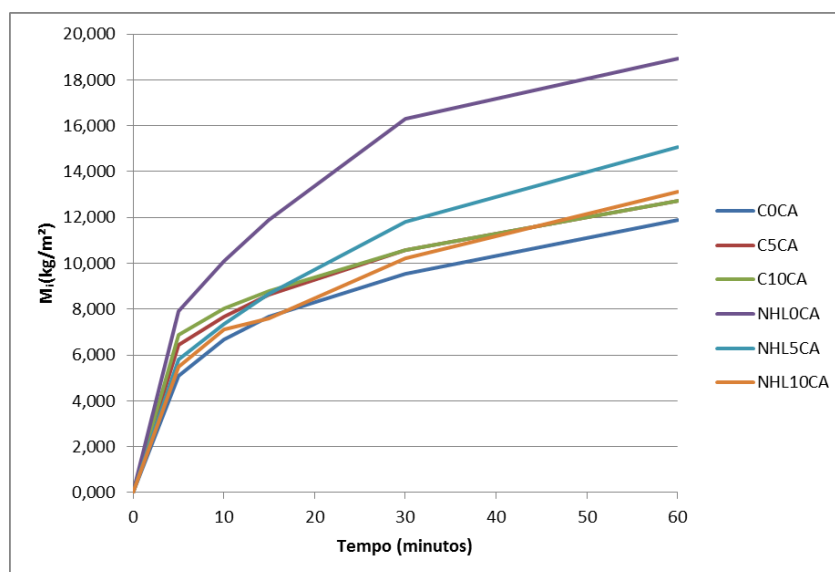


Figura 3.11 – Curva de absorção de água por capilaridade na primeira hora de ensaio aos 28 dias.

O coeficiente de absorção por capilaridade varia com a inclinação da curva de cada argamassa, sendo maior com o aumento da inclinação. Através das curvas representadas na Figura 3.10 e Figura 3.11, e comparando com o Quadro 3.7, pode-se afirmar que as argamassas de cal hidráulica apresentam um maior coeficiente de absorção de capilaridade do que as argamassas de cimento, e que de uma forma geral este diminui com a adição do teor de fibras. De uma forma geral, os provetes atingem a saturação ao fim de um dia de ensaio, aproximadamente, no entanto, as argamassas com teor de fibras continuam a absorver água de forma muito pouco significativa.

#### 3.1.4.6 Ensaio de secagem

Para a realização do ensaio de secagem teve-se como base os trabalhos anteriores de Ferreira (2011) e Alberto (2014), que se basearam no procedimento N° II.5 da RILEM. Este realizou-se imediatamente após o ensaio de absorção de água por capilaridade, utilizando-se deste modo os mesmos provetes, uma vez que estes se encontravam completamente saturados.

Inicialmente retirou-se a película plástica que envolvia as faces laterais dos provetes, no ensaio de absorção de água por capilaridade, de modo a ocorrer uma secagem bidirecional. Os provetes completamente saturados foram então pesados e mantidos numa câmara climática, com uma temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e uma humidade relativa de  $50 \pm 5\%$ . A quantidade de água evaporada foi determinada utilizando uma balança de precisão de 0,01g, com a qual se efetuaram pesagens iniciais de hora em hora, até perfazer um total de 6 horas, uma vez que os provetes apresentam uma secagem mais rápida nas primeiras horas, que tende a estabilizar no tempo. Por esta razão as restantes pesagens foram realizadas em intervalos de 24 horas até

que a variação de massa em duas pesagens consecutivas fosse inferior a 1%, concluindo assim o ensaio. Esta variação ocorreu ao fim de 48 horas, no entanto, como o valor da variação da massa era muito perto do limite, optou-se por concluir o ensaio ao fim de 72 horas.



Figura 3.12 – i) Colocação dos provetes em estufa; ii) Medição da massa de cada provete

Os resultados do ensaio de secagem são indicados através de dois parâmetros: a curva de secagem, que exprime a variação do teor de água ao longo do tempo e o índice de secagem, que indica a rapidez de secagem das argamassas, que quanto maior for, menor será o respectivo índice.

O teor de água presente na argamassa é obtido através da seguinte expressão:

$$W_t = \frac{m_i - m_o}{m_o} \cdot 100 \quad [\%]$$

Sendo,

$m_i$  - massa do meio provete no instante  $t$ , [g];

$m_o$  - massa do meio provete seco na câmara climática, [g].

O índice de secagem é determinado através da seguinte expressão:

$$i_s = \frac{n-1}{Q_{\max}} \frac{t_i - t_{i-1}}{t_n} \frac{Q_{i-1} - Q_i}{2}$$

Com,

$$Q_i = \frac{m_i - m_{\text{seca}}}{m_{\text{seca}}} \cdot 100 \quad [\%]$$

Sendo,

$t_i$  - tempo de ensaio  $i$ , [h];

$t_n$  - tempo final do ensaio, [h];

$Q_i$  - quantidade de água no interior do provete no instante  $i$ , [%];

$Q_{\max}$  - quantidade de água no instante inicial, [%].

Nas Figuras 3.13 e 3.14 estão representadas as curvas de secagem média das argamassas de cimento e de cal hidráulica, respetivamente, ao fim de 28 dias de cura.

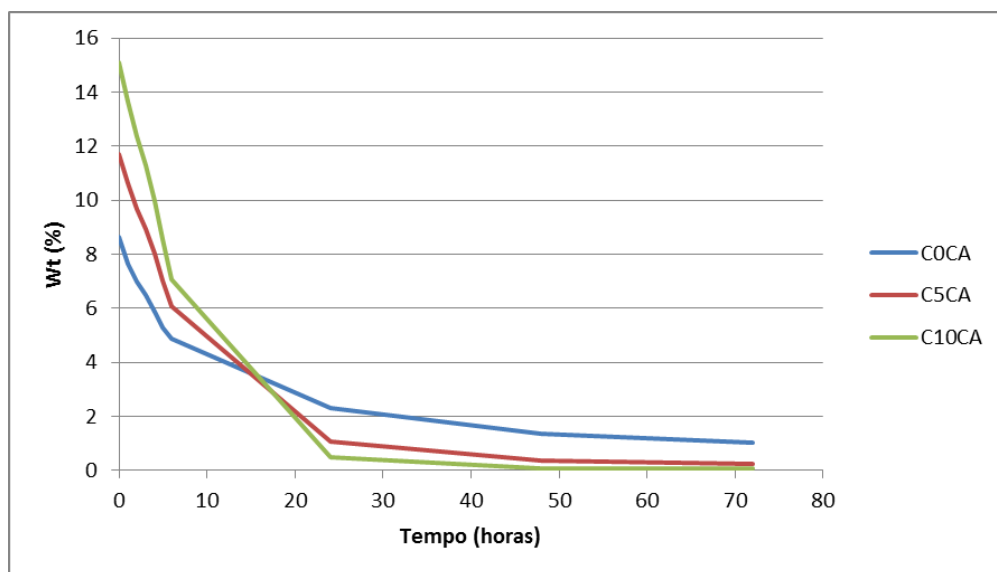


Figura 3.13 – Curvas de secagem média de argamassas de cimento aos 28 dias.

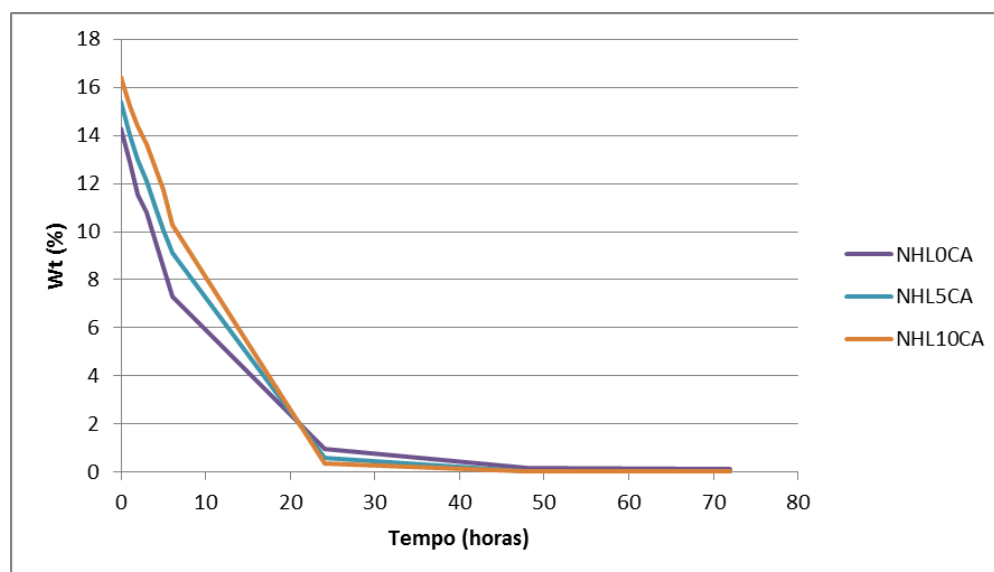


Figura 3.14 – Curvas de secagem média das argamassas de cal hidráulica aos 28 dias.

Neste ensaio houve a necessidade de realizar pequenas alterações no tratamento de dados, para obter valores mais realistas. Teoricamente, o valor da massa do meio provete seco na câmara climática, corresponde ao valor da massa do meio provete seco, no início do ensaio da determinação da absorção de água por capilaridade. No entanto, ao longo desse ensaio ocorreu uma degradação significativa de alguns provetes, principalmente dos C10CA, o que contribuiu para a sua perda de massa e uma variação de massa acentuada entre o ensaio de absorção de água por capilaridade e o ensaio de secagem. Assim, devido a esta perda de massa, atingiu-se valores negativos do teor de água presente na argamassa. Para corrigir este erro, admitiu-se que o valor da massa do meio provete seco na câmara climática, corresponde ao valor da massa do meio provete seco, no fim do ensaio de secagem. Deste modo já não foram obtidos valores de teores de água negativos, embora, esse valor se aproxime do zero, como se pode ver na Figura 3.13 e na Figura 3.14, o que não está completamente correcto, sendo no entanto, um erro menos significativo.

Analisando as curvas de secagem média das argamassas de cimento, verifica-se que a capacidade de absorção de água nestas argamassas aumenta quando o teor de fibra de acácia também aumenta. No entanto, estas argamassas, C5CA e C10CA, libertam mais rapidamente a quantidade de água absorvida quando comparadas à argamassa de referência.

Relativamente às argamassas de cal hidráulica, verifica-se que a capacidade de absorção de água aumenta com a adição de fibras de acácia, mas de uma forma menos significativa, quando comparadas com as argamassas anteriores. As curvas das argamassas NHL5CA e NHL10CA acompanham sempre a curva de secagem da argamassa de referência, ocorrendo assim, um comportamento semelhante entre si.

No Quadro 3.8 estão representados os valores do índice de secagem, ao fim de 28 dias, para cada tipo de argamassa em estudo.

Fazendo uma análise a este quadro, constata-se que nas argamassas de cimento, o índice de secagem diminui com a adição de fibras de acácia, ou seja, as argamassas C5CA e C10CA apresentam uma secagem mais rápida e fácil do que as argamassas de referência C0CA. Os três tipos argamassas de cal hidráulica apresentam um índice de secagem idêntico. Esta análise pode ser comprovada observando a Figura 3.13 e a Figura 3.14.

Quadro 3.8 – Valor do índice de secagem e respetivo desvio padrão aos 28 dias.

| Argamassa | Índice de Secagem |      |
|-----------|-------------------|------|
|           | $i_s$             | D.P. |
| C0CA      | 0,28              | 0,00 |
| C5CA      | 0,16              | 0,01 |
| C10CA     | 0,13              | 0,01 |
| NHL0CA    | 0,16              | 0,00 |
| NHL5CA    | 0,15              | 0,00 |
| NHL10CA   | 0,16              | 0,00 |

#### 3.1.4.7 Determinação da massa volúmica e porosidade aberta

O ensaio para a determinação da porosidade aberta, ou seja, o quociente entre o volume de poros abertos e o volume aparente dos provetes foi realizado tendo por base a norma NP EN 1936:2008 (IPQ, 2008). Como esta norma é indicada para o cálculo da porosidade aberta em provetes de pedra natural, houve a necessidade de pequenas alterações, uma vez que se tratava de um ensaio com argamassas de cimento e argamassas de cal.

Neste ensaio foram utilizados os topos mais intactos dos meios provetes do ensaio de resistência à compressão efetuado aos 28 dias. Inicialmente estes foram limpos, com a ajuda de um pincel, de modo a retirar o material solto que se encontrava nos provetes.

Posteriormente, colocaram-se os provetes numa câmara climática, com uma temperatura de  $70 \pm 5^\circ\text{C}$ , até atingirem a massa constante, ou seja, quando se atingiu uma variação inferior a 1% da massa do provete entre duas medições consecutivas, em intervalos de 24 horas. Depois da sua secagem dos provetes, determinou-se a sua massa seca, utilizando uma balança de precisão de 0,01g.

De seguida, os provetes foram dispostos num tabuleiro, com água, espaçados e ordenados, onde se efetuou a sua saturação, por imersão total. Ao fim de 48 horas, a massa medida tornou-se constante, atingindo então a saturação, o excedente de água foi retirado e efetuou-se a pesagem de cada provete saturado.

Após a saturação, efetuou-se uma pesagem hidrostática para cada provete, através de uma balança que contém um cesto que imerge num recipiente com água. Os provetes foram colocados no cesto imerso e após a estabilização da balança, registou-se a massa do provete imerso em água.

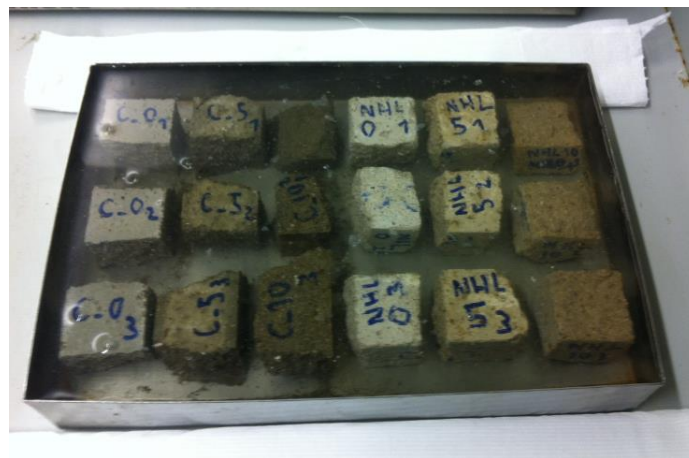


Figura 3.15 – Saturação dos provetes.

A porosidade aberta é determinada através da seguinte expressão:

$$p_a = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \cdot 100 \quad [\%]$$

Sendo,

$m_s$  - massa do provete saturado, [g];

$m_d$  - massa do provete seco, [g];

$m_h$  - massa do provete imerso em água, [g].

A massa volúmica aparente é determinada através da seguinte expressão:

$$\rho_a = \frac{m_d}{m_s - m_h} \quad [\text{kg} / \text{m}^3]$$

Sendo,

$\rho_h$  - massa volúmica da água à temperatura do ensaio, [ $kg/m^3$ ].

Na Figura 3.16 estão representados os valores da porosidade aberta e massa volúmica aparente, ao fim de 28 dias de cura, para cada tipo de argamassa em estudo.

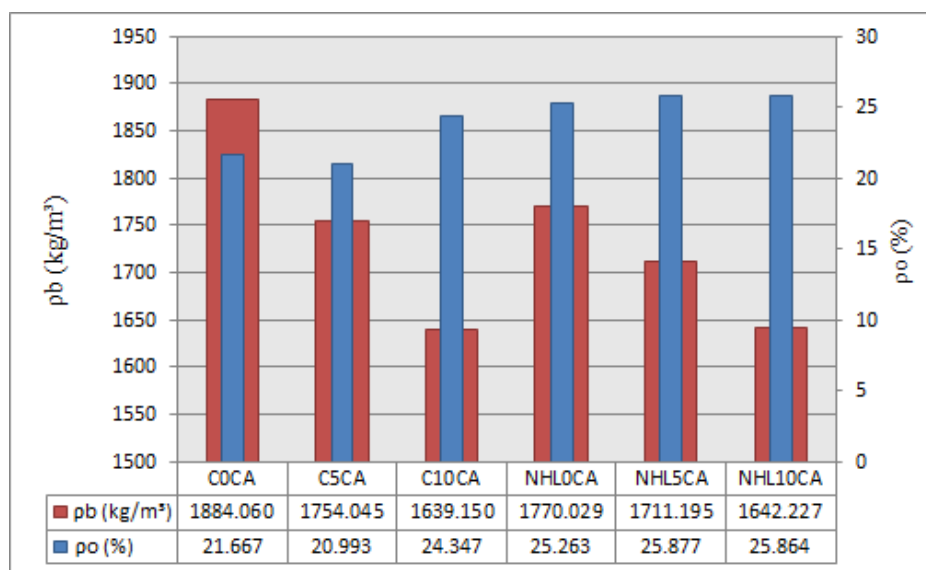


Figura 3.16 – Porosidade aberta e massa volúmica aparente aos 28 dias.

Analisando os valores obtidos para a porosidade aberta e massa volúmica aparente, verifica-se que, para as argamassas de cimento, a porosidade aumenta significativamente com a adição de um teor de 10% de fibras de acácia, quando comparada à argamassa de referência C0CA. No entanto, as argamassas com 5% de fibras de acácia apresentam uma diminuição do valor da porosidade, concluindo assim que a argamassa C10CA é a mais porosa. Nos restantes três tipos de argamassas de cal hidráulica, o valor da porosidade mantém-se praticamente constante, havendo apenas um aumento muito pouco significativo nas argamassas NHL5CA e NHL10CA.

Relativamente à massa volúmica aparente, constata-se que nas argamassas de cimento, varia de forma inversamente proporcional à porosidade aberta, como era de esperar. As argamassas com menor massa volúmica aparente são as C10CA, que apresentam o maior teor de fibras de acácia. No caso das argamassas de cal hidráulica, ao invés da porosidade aberta, que se mantém praticamente constante, o valor da massa volúmica aparente, diminui com o aumento do teor de fibras. Neste caso, a argamassa NHL10CA apresenta um menor valor de massa volúmica aparente.



### 3.2 Discussão dos resultados

Neste subcapítulo pretende-se discutir e interpretar os resultados obtidos com a realização dos ensaios, recorrendo, em certos casos, a interligações dos vários ensaios realizados.

Na Figura 3.17 são apresentadas as resistências mecânicas à flexão e à compressão das argamassas em estudo.

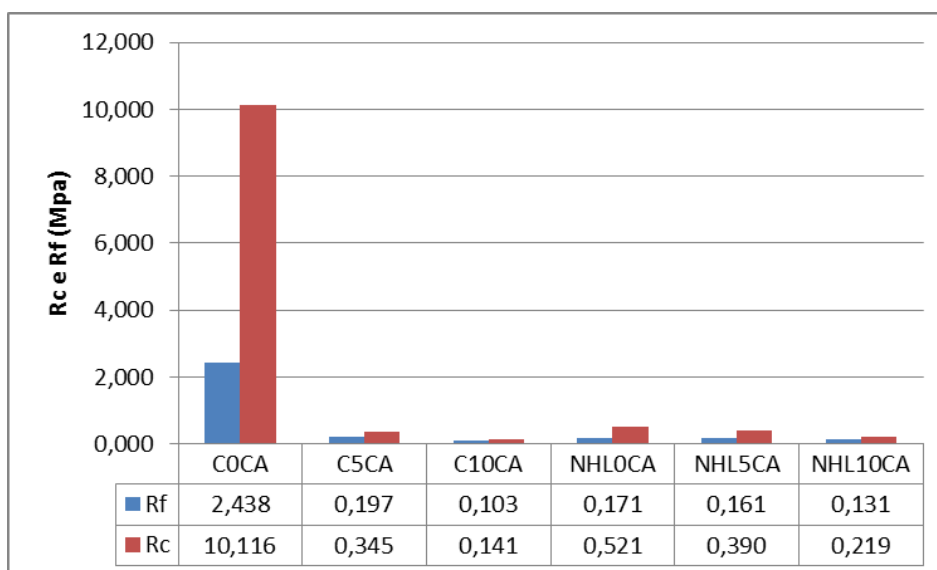


Figura 3.17 – Relação das resistências à tração por flexão e compressão.

Analisando estes resultados, pode-se concluir que a adição de fibras de acácia reduz significativamente as resistências à tração por flexão e compressão das argamassas. Esta redução é mais significativa na resistência à compressão das argamassas de cimento, onde os valores são inferiores ao mínimo imposto para argamassas de uso geral, 0,40 MPa, segundo a EN 998-1:2003. As argamassas de cal hidráulica NHL5CA e NHL10CA também apresentam valores de resistências inferiores aos mínimos, referenciados no Quadro 2.1, onde a resistência à flexão está compreendida entre 0,2 e 0,7 MPA e a resistência à compressão entre 0,4 e 2,5 MPA. Desta forma a adição de fibras de acácia prejudica as resistências mecânicas destas argamassas.

Na Figura 3.18 é apresentada o valor da permeabilidade ao vapor de água das argamassas em estudo.

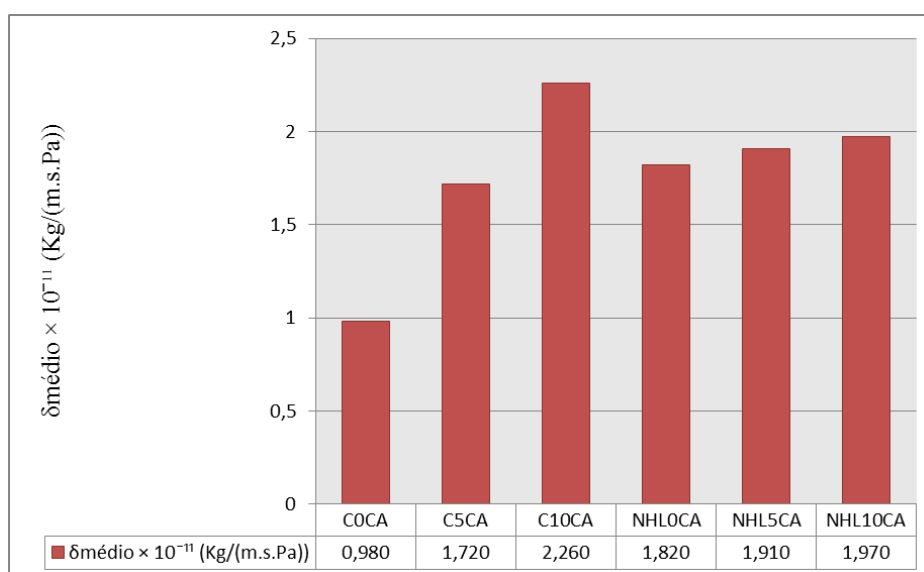


Figura 3.18 – Permeabilidade ao vapor de água.

Analisando os resultados da permeabilidade ao vapor de água, representados na Figura 3.18, conclui-se imediatamente, que a adição de fibras contribui para um bom comportamento em relação à permeabilidade ao vapor de água das argamassas, pois esta aumenta significativamente com o acréscimo do teor de fibras. No entanto, as argamassas de cal, NHL5CA e NHL10CA, não apresentam um acréscimo tão elevado, face à argamassa de referência, quando comparadas às argamassas de cimento C5CA e C10CA, que apresentam os valores máximos de permeabilidade.

A Figura 3.19 representa a relação entre o coeficiente de capilaridade e o valor assintótico.

Os valores do coeficiente de capilaridade apresentados resultam de uma análise gráfica das curvas de absorção de água por capilaridade e da norma EN 1015-18:2002 (CEN, 2002). A argamassa apresentará um bom comportamento à absorção de água por capilaridade, quanto menor for o valor do seu coeficiente de capilaridade. Neste sentido, este coeficiente diminui nas argamassas de cimento, quando se aumenta o teor de fibras de acácia. No entanto, no caso das argamassas de cal, a NHL5CA apresenta um aumento do coeficiente de capilaridade, enquanto a NHL10C reduz o seu valor, face à argamassa de referência, NHL0CA, verificando-se que para argamassas de cal, o comportamento face à absorção de água por capilaridade só melhora com um teor de 10% de fibras, aproximadamente. De uma forma geral, as argamassas que contém fibras de acácia, apresentam um comportamento à absorção por capilaridade.

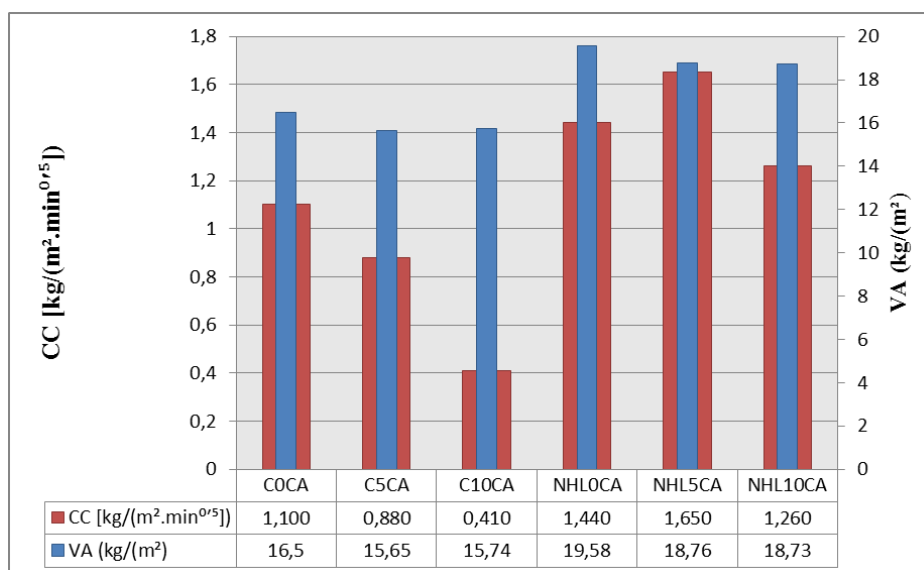


Figura 3.19 – Relação entre o coeficiente de capilaridade e o valor assintótico.

Na Figura 3.20, apresentam-se os valores da porosidade aberta das várias argamassas.

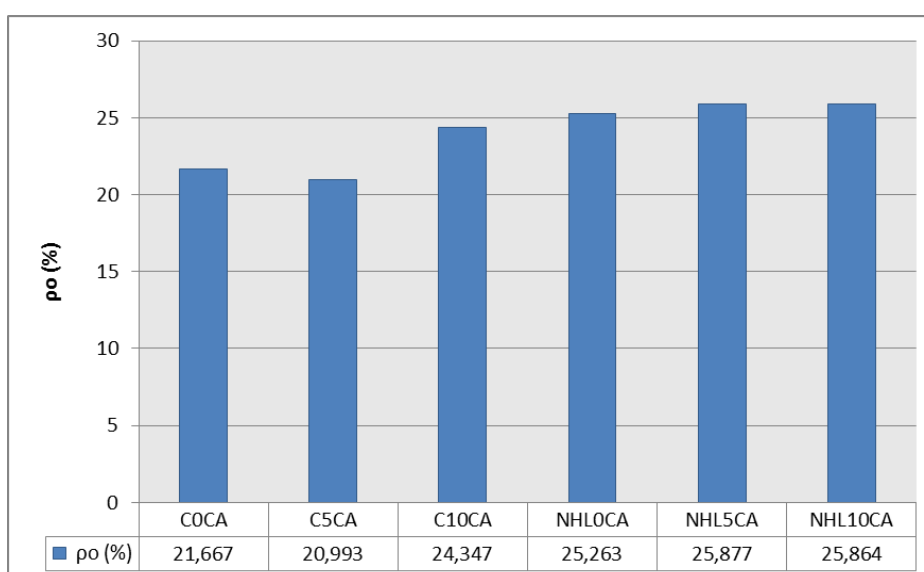


Figura 3.20 – Porosidade aberta.

Através da análise destes dados, verifica-se que as argamassas com elevadas percentagens de fibras de acácia são mais porosas, exceto a argamassa de cimento C5CA que tem uma porosidade menor. Deste modo, é necessário analisar a porosidade aberta com outros parâmetros calculados. Na Figura 3.21 está representada a relação entre a porosidade aberta e o coeficiente de capilaridade de cada argamassa.

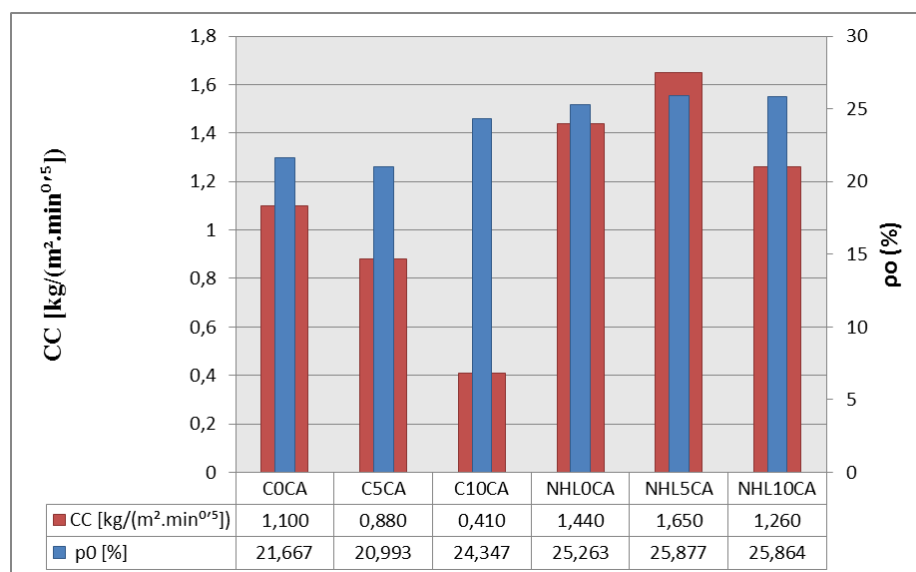


Figura 3.21 – Relação entre a porosidade aberta e o coeficiente de capilaridade.

Analisando os resultados obtidos, pode-se concluir que o comportamento varia completamente entre as argamassas de cimento e as argamassas de cal. Nas argamassas de cimento, a porosidade aberta estabelece uma proporcionalidade inversa com o coeficiente de capilaridade, uma vez que este diminui com o aumento da porosidade, o que se pode verificar na argamassa com 10% de fibras, C10CA, onde se verifica uma porosidade superior, mas no entanto, o coeficiente de capilaridade é bastante inferior, apresentando assim um comportamento melhorado. Nas argamassas de cal torna-se mais difícil estabelecer uma relação entre estes dois parâmetros, uma vez que a porosidade é praticamente constante, variando o coeficiente de capilaridade, que aumenta na argamassa NHL5CA e diminui na argamassa NHL10CA. No entanto, pode-se considerar que esta argamassa, NHL10CA apresenta um melhor comportamento, considerando que tem uma porosidade aberta maior. Normalmente o coeficiente de capilaridade aumenta quando aumenta a porosidade das argamassas, mas este parâmetro não tem apenas a ver com a percentagem de poros, mas também com a sua dimensão. Neste caso, não é possível estabelecer essa comparação, uma vez que não foi possível determinar a porosimetria das argamassas.

A porosidade aberta apresenta grande influência nas características associadas à capilaridade, no entanto, também condiciona a permeabilidade ao vapor de água, daí que seja necessário analisar a relação destes dois parâmetros. A Figura 3.22 representa a relação entre a porosidade aberta e a permeabilidade ao vapor de água.

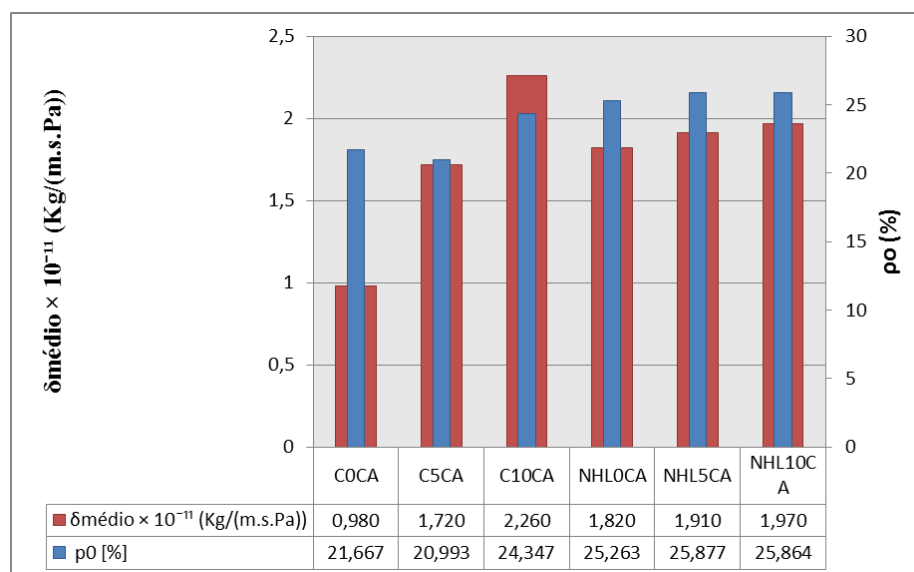


Figura 3.22 – Relação entre a porosidade aberta e a permeabilidade ao vapor de água.

Na Figura 3.22, verifica-se o aumento da porosidade aberta é acompanhada pelo aumento da permeabilidade ao vapor de água, existindo assim uma boa correlação entre os dois parâmetros. Mais uma vez, o melhor comportamento é verificado nas argamassas com maior teor de fibra de acácia, C10CA e NHL10CA, pois apresentam, de uma forma geral, uma maior porosidade e uma maior permeabilidade ao vapor de água.

Por fim, é necessário analisar a relação entre o coeficiente de capilaridade e o índice de secagem, tal como está representado na Figura 3.23.

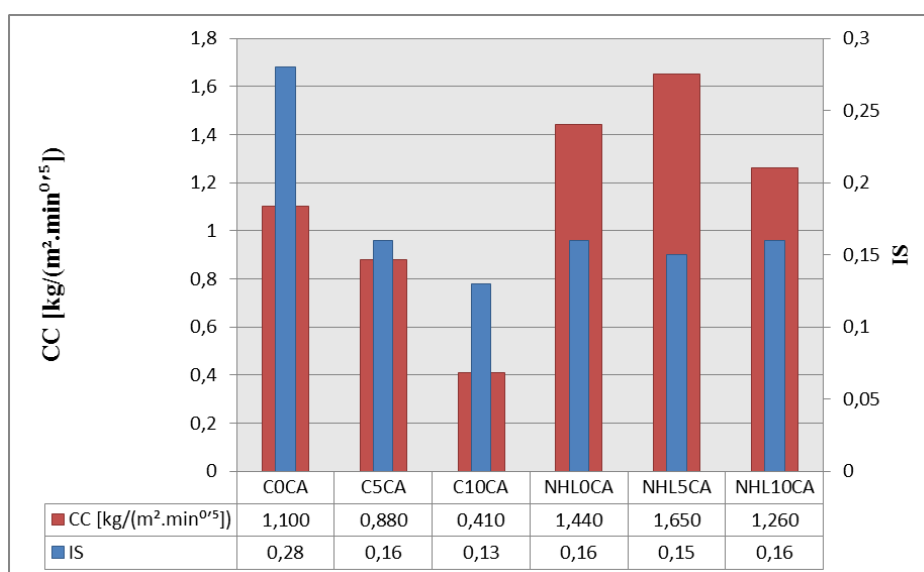


Figura 3.23 – Relação entre o coeficiente de capilaridade e o índice de secagem.

Uma argamassa deve apresentar um coeficiente de capilaridade reduzido, bem como o índice de secagem, para ocorrer uma absorção lenta da água e uma rápida secagem. Ao analisar os dados verifica-se que nas argamassas de cimento, o coeficiente de capilaridade e o índice de secagem diminuem com o aumento do teor de fibras, sendo a argamassa C10CA, os valores dos índices mais reduzidos, e conseqüentemente um melhor comportamento. No caso das argamassas de cal, estas apresentam um índice de secagem praticamente constante, independentemente do teor de fibras. Neste caso o que condiciona o comportamento é o coeficiente de capilaridade, que tem de apresentar um valor reduzido, o que acontece nas argamassas NHL10CA.

Em síntese, pode-se afirmar que a adição de fibras de acácia reduz significativamente as resistências mecânicas das argamassas de cimento e argamassas de cal. No entanto, adição de fibras de acácia, com um teor de 10%, melhora as características higrotérmicas das argamassas, sendo essa alteração mais notável nas argamassas de cal hidráulica, NHL10CA.

## **4 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS**

Esta dissertação contribui para um aprofundamento de conhecimentos sobre argamassas, e uma melhor percepção do trabalho laboratorial sobre este tema. Com a finalização deste trabalho, concluiu-se que o seu objectivo inicial foi alcançado. No entanto, por se tratar de um trabalho inicial sobre esta temática, alguns resultados podem não ter sido bem conclusivos, surgindo assim a necessidade da continuação deste estudo, de modo a melhorar algumas características das argamassas em estudo.

Inicialmente recorreu-se a bibliografia e verificou-se a existência do desenvolvimento de temas semelhantes, utilizando outros tipos de fibras ou resíduos, outros traços volumétricos nas argamassas e outros ensaios. Neste caso, os ensaios foram realizados tendo por base as normas respetivas, havendo a necessidade de recorrer aos trabalhos consultados, nomeadamente na comparação valores obtidos e procedimentos experimentais.

A incorporação de fibras naturais em argamassas conduz a uma construção sustentável, podendo contribuir futuramente para uma estabilidade ambiental, económica e social. Deste modo, e por se tratar de um trabalho pioneiro, foram estudados dois tipos de argamassas, uma argamassa de cimento, utilizada em revestimentos recentes, e uma argamassa de cal hidráulica, que pode ser utilizada como argamassa de substituição ou reparação em obras de reabilitação.

Assim, as argamassas cimento e de cal hidráulica apresentam o mesmo traço volumétrico de 1:3 e foram reforçadas com fibras de acácia, com teores de 5% e 10%. Posteriormente, foram realizados todos os ensaios necessários para determinar as suas características mecânicas e higrotérmicas, e avaliar a sua aplicabilidade.

De um modo geral, e analisando os resultados dos ensaios realizados, conclui-se que, para os ensaios mecânicos, a adição de fibras de acácia diminui significativamente as resistências mecânicas (resistência à tração por flexão e resistência à compressão), principalmente nas argamassas de cimento, onde essa diminuição é muito mais acentuada, pondo em causa a sua aplicabilidade.

Relativamente à permeabilidade ao vapor de água, esta aumenta com o aumento do teor de fibras de acácia, sendo esta diferença mais significativa nas argamassas de cimento. O

coeficiente de absorção por capilaridade diminui, de uma forma geral, com a adição do teor de fibras. Relativamente ao índice de secagem, este diminui com o aumento de fibras, principalmente nas argamassas de cimento, enquanto nas argamassas de cal permanece praticamente constante. Por fim, o valor da porosidade tem um aumento com a adição de fibras, nas argamassas de cimento, e mantém-se praticamente constante nas argamassas de cal hidráulica.

No entanto, para avaliar o comportamento destas argamassas também é necessário avaliar interligações dos vários ensaios realizados, nomeadamente a relação das resistências à tração por flexão e compressão, a relação entre o coeficiente de capilaridade e o valor assintótico, a relação entre a porosidade aberta e o coeficiente de capilaridade, a relação entre a porosidade aberta e a permeabilidade ao vapor de água e a relação entre o coeficiente de capilaridade e o índice de secagem. Esta análise encontra-se no subcapítulo 3.4, onde se concluiu que a adição de fibras de acácia reduz significativamente as resistências mecânicas das argamassas de cimento e argamassas de cal. No entanto, adição de fibras de acácia, com um teor de 10%, melhora as características higrotérmicas das argamassas, sendo essa alteração mais notável nas argamassas de cal hidráulica, NHL10CA.

Por fim, recorreu-se à norma EN 998-1 (CEN, 2003), que trata das especificações para as argamassas de alvenaria, de modo a averiguar a aplicabilidade das argamassas em estudo e a sugerir a continuação deste estudo. Assim, segundo esta norma, comparou-se a resistência à compressão aos 28 dias e a capacidade de absorção de água por capilaridade.

Neste sentido, nenhuma argamassa obteve o valor mínimo de resistência à compressão imposto, ou seja, 0,40 MPa, sendo então sugerido a continuação deste estudo, de modo a aumentar esta resistência mecânica, através da alteração do traço ou de adição de aditivos e adjuvantes específicos. Ainda segundo a norma referenciada, caso as argamassas atinjam o valor mínimo de resistência à compressão, podem ser classificadas na categoria CS I, e serem utilizadas como argamassas de reboco geral ou argamassas leves. Caso se pretenda utilizar estas argamassas, como argamassas de substituição, estas terão de apresentar uma resistência à compressão mínima de 1,5 MPa.

Segundo a mesma norma, as argamassas são classificadas como categoria W0, tendo em conta o coeficiente de absorção de água. Deste modo, e segundo este parâmetro, as argamassas em estudo podem ser utilizadas como qualquer tipo de argamassa já acima referenciados.

Em síntese, pode-se concluir que há a necessidade de continuar o estudo destas argamassas, de modo a aumentar a sua resistência mecânica, de modo a serem utilizadas como argamassas correntes ou até argamassas de reabilitação.



## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agostinho, C. (2008). “Estudo da evolução do desempenho no tempo de argamassas de cal aérea”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Alberto, H. (2014). “Argamassa de cal com incorporação de resíduos de cerâmica branca: Estudo do seu comportamento”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Bernardi, T. (2003). “Avaliação do comportamento de materiais compósitos de matrizes cimentícias reforçadas com fibras de aramida Kevlar”. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Branco, F. (2010). “Ligantes – Materiais de Construção”. Apontamentos da disciplina de Materiais de Construção do Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Cavaco, L. (2005). “Técnicas de aplicação de argamassas de revestimento em edifícios antigos. Influência no desempenho”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- CEN (1999). “Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar”. EN 1015-11, European Committee of Standardization, Brussels.
- CEN (2002). “Methods of test for mortar for masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar”. EN 1015-18:2002, European Committee of Standardization, Brussels.
- CEN (2003). “Specification for mortar for masonry – Part 1: Rendering and plastering mortar”. EN 998-1, European Committee of Standardization, Brussels.

- Duarte, T. (2011). “Comportamento mecânico de argamassas de cal com resíduos cerâmicos”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Esteves, J. (2009). “Novos materiais e novas estruturas” Encontro Ciência 2009, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- FAESA, Engenharia de Produção@ (2015). <http://pt.slideshare.net/OMonitor/processo-de-produo-do-cimento>.
- Faria, M. (2004). “Argamassa de revestimento para alvenarias antigas. Contribuição para o estudo da influência dos ligantes”. Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Ferreira, T. (2011). “Análise do comportamento higrotérmico de argamassas de cal aérea com resíduos cerâmicos”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Figueiredo, A. (2000). “Concreto com fibras de aço”. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Gonçalves, A. (2010). “Estudo da influência dos factores de aplicação no desempenho de argamassas de revestimento recorrendo a técnicas de ensaio, in-situ”. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Henriques, T. (2013). “Análise da influência da fibra óptica polimérica inserida em blocos de argamassa”. Dissertação Pós-Graduação, Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- IPQ (2002). “Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios”. NP EN 1097-3:2002, Instituto Português da Qualidade, Lisboa.
- IPQ (2008). “Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta”. NP EN 1936:2008, Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

- IPQ (2008). “Métodos de ensaio de argamassas para alvenaria. Parte 19: Determinação da permeabilidade ao vapor de água de argamassas de reboco endurecidas”. NP EN 1015-19, Instituto Português da Qualidade, Lisboa.
- ISO (2001). “Hygrothermal performance of building materials and products – Determination o water vapour transmission properties”. ISSO 12572, International Standard.
- Magalhães, A. (2002). “Patologias de Rebocos Antigos”. Caderno de edifícios nº2, LNEC, Lisboa.
- Martins, A. (2008). “Estudo da influência da dosagem de cimento no desempenho de argamassas de reboco”. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Matias, G. (2008). “A influência de resíduos de tijolo no comportamento de argamassas de cal”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Mergulhão, D. (2014). “Argamassas de cal aérea e metacaulino: Influência do traço, da cura marítima e da idade”. Projecto de Licenciatura, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Pavão, J. (2010). “Estudo da influência da dosagem de ligante no desempenho de rebocos para edifícios antigos”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Penas, F. (2008). “Argamassa de cal hidráulica para revestimentos de paredes”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Rodrigues, D. (2010). “Influência dos métodos de ensaio nas características de argamassas de cal aérea e hidráulica”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Rodrigues, M. (2004). “Argamassas de revestimento para alvenarias antigas: contribuição para o estudo da influência dos ligantes”. Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

- Santos, P. (2014). “Caracterização de argamassas de cal aérea e terra. A influência do traço e tipo de fibra natural.” Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Teixeira, M (2014). “Argamassas de reboco com cal aérea, terra e fibras naturais: avaliação preliminar da suscetibilidade à contaminação biológica”. Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento, Coimbra.
- Tomás, A. (2011). “Análise do comportamento de argamassas de cal aérea com resíduos cerâmicos em substituição de parte do agregado”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Veiga, M.<sup>a</sup> Rosário. (2003). “Argamassas em revestimentos 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*. LNEC, Lisboa.
- Veiga, M. (2005). “Comportamento de rebocos para edifícios antigos: Exigências gerais e requisitos específicos para edifícios antigos.” Seminário “Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos.” LNEC, Lisboa.
- Veiga, M.<sup>a</sup> R. e Aguiar, J. (2003). “Definição de estratégias de intervenção em revestimentos de edifícios antigos.” 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto
- Veiga, M.<sup>a</sup> R. e Carvalho, F. (2002). “Argamassas de reboco para paredes de edifícios antigos: Requisitos e características a respeitar.” Caderno de edifícios nº2, LNEC, Lisboa.