

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

# O USO DE ARGAMASSAS TRADICIONAIS E PRÉ-DOSEADAS PARA IMPERMEABILIZAÇÃO EM REVESTIMENTOS EXTERIORES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

LAUREANO LEITE COSTA



Vila Real, 2008



**UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO**

## **O uso de Argamassas Tradicionais e Pré-doseadas para Impermeabilização em Revestimentos Exteriores**

Laureano Leite Costa

Dissertação apresentada à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica da Professora Anabela Gonçalves Correia de Paiva e do Professor José Barbosa Vieira.

## **Agradecimentos**

À Professora Anabela Gonçalves Correia de Paiva e ao Professor José Barbosa Vieira, por toda a ajuda e dedicação que me disponibilizaram durante o decorrer deste trabalho, ao Técnico do Laboratório de Matérias e Solos da UTAD Ricardo Fernandes Cardão e ao Eng.º Cristóvão Carvalho Laginhas pela ajuda e atenção que me disponibilizaram durante a realização da parte experimental e a toda a minha família, namorada e amigos pela dedicação e apoio.

**Palavras-chave:** Argamassas; rebocos; impermeabilização; patologias; materiais de construção.

## **Resumo**

Ao longo dos anos as mais belas obras sofrem a acção do tempo e passam a exhibir marcas subtis ou profundas. Nas edificações actuais os elementos construtivos são afectados por uma variedade de agentes externos, como fungos, a própria atmosfera reactiva, mudanças climáticas, até mesmo a acção do homem. Os fenómenos patológicos com maior expressão nas paredes são a fissuração e os defeitos associados à acção da humidade. No entanto, muitas das patologias causadas pelos agentes seriam evitadas se a edificação fosse impermeável à água e permeável ao vapor de água.

Assim sendo, neste trabalho pretende-se estudar o comportamento face à impermeabilização em revestimentos exteriores, das argamassas tradicionais e das pré-doseadas. Com o objectivo de comparar os dois tipos de argamassas de impermeabilização (tradicional e pré-doseada), foram realizados ensaios à flexão, compressão e capilaridade em provetes obtidos de forma tradicional e pré-doseada.

A análise dos resultados mostrou que os provetes obtidos de forma tradicional, constituídos pelo SikaCim Hidrófugo, apresentaram melhores resultados em todos os ensaios realizados. No entanto, é de salientar que a argamassa pré-doseada garantiu os valores aos ensaios mecânicos estabelecidos na ficha técnica.

**Keywords:** Mortars; plasters; waterproof; pathologies; construction materials.

## **Abstract**

Over the years, the most beautiful constructions suffer the action of time and begin to show subtle or deep marks. In current buildings, constructions elements are affected by a variety of external agents, such as funghi, the reactive atmosphere, climate changes and the action of man. The most commum pathologies on walls are cracks and the defects associated to the action of dampness. However, most of the pathologies would be avoided if the building envelope was waterproof and permeable to water vapor.

The aims of this work is to study the behaviour towards waterproofing of external coatings, using traditional and pre-dosed mortar. In order to compare these two types of waterproof mortars (traditional and pre-dosed) some samples have been tested to bending, compression and capillary.

The analysis of the results showed that the samples obtained with traditional mortars, made with SikaCim water repellents, presented better results in all tests. However, it is important to refer that the results of the mechanic, tests using pre-dosed mortar, were in accordance to the specifications presented in the data sheets of the manufacturer.

## Índice Geral

Índice.....	II
Índice de figuras.....	V
Índice de tabelas.....	VII
Índice de gráficos.....	VIII

## Índice

Índice de figuras .....	V
Índice de tabelas .....	VII
Índice de gráficos .....	VIII
CAPÍTULO I - Introdução .....	1
1.1 Enquadramento .....	2
1.2 Objectivos .....	2
1.3 Estrutura da dissertação .....	3
CAPÍTULO II - Argamassas.....	4
2.1 Introdução .....	5
2.2 Evolução histórica das argamassas .....	6
2.2.1 Aparecimento das argamassas industriais.....	8
2.3 Constituição de uma argamassa .....	10
2.3.1 Agregados .....	11
2.3.2 Ligantes.....	17
2.3.2.1 Ligantes de cal.....	18
2.3.2.2 Ligantes de gesso.....	24
2.3.2.3 Ligantes de cimento .....	25
2.3.3 Água de amassadura .....	27

2.3.4 Adjuvantes e aditivos .....	28
2.4 Normas europeias para argamassas.....	29
2.5 Tipos de argamassas.....	30
2.5.1 Conceitos e definições .....	31
2.5.2 Caracterização das argamassas segundo o local de fabrico .....	35
2.5.3 Argamassas para revestimentos exteriores .....	36
2.5.3.1 Patologias .....	38
2.5.3.2.1 Acção dos agentes que afectam a conservação das fachadas .....	40
2.5.3.2.2 Medidas preventivas.....	43
<b>CAPÍTULO III - Argamassas de impermeabilização.....</b>	<b>48</b>
3.1 Objectivo.....	49
3.2 Tipos de argamassas de impermeabilização .....	50
3.3 Análise comparativa entre vários tipos de argamassas .....	52
<b>CAPÍTULO IV - Rebocos de impermeabilização .....</b>	<b>57</b>
4.1 Introdução .....	58
4.2 Principais causas de degradação .....	59
4.3 Impermeabilização .....	62
4.3.1 Rebocos e monomassas .....	63
<b>CAPÍTULO V - Ensaios .....</b>	<b>81</b>
5.1 Introdução .....	82

5.2 Ensaio de capilaridade .....	83
5.3 Resistência à flexão .....	89
5.4 Resistência à compressão .....	93
5.5 Análise dos resultados .....	96
5.6 Análise de preços.....	97
CAPÍTULO VI - Conclusões finais e trabalho futuro.....	99
CAPÍTULO VII - Referências bibliográficas.....	102
Anexo.....	108

## Índice de figuras

Figura 1: Constituintes possíveis de uma argamassa: areia, cimento e água .....	5
Figura 2: Fábrica de produção industrial de argamassas de construção .....	9
Figura 3: Efeito do uso de agregados com uma distribuição de tamanhos alargada. ....	14
Figura 4: Ligantes para argamassas .....	18
Figura 5: Argamassa de alvenaria.....	31
Figura 6: Argamassa de reboco .....	32
Figura 7: Cimento – Cola.....	32
Figura 8: Argamassas para juntas .....	33
Figura 9: Argamassas para regularização de pavimentos .....	33
Figura 10: Destacamento de reboco rígido.....	38
Figura 11: Fissuração.....	38
Figura 12: Ascensão por capilaridade.....	43
Figura 13: Penetração da água na parede.....	44
Figura 14: Saída de água sob forma de vapor .....	44
Figura 15: Silo para o armazenamento de “argamassa” em obra.....	51
Figura 16: Exemplo de uma obra onde se aplicou o revestimento monomassa.....	78
Figura 17: Misturadora industrial .....	83
Figura 18: Vibração dos moldes .....	83
Figura 19: Esquema de flexão de uma viga simplesmente apoiada .....	90

Figura 20: Análise à flexão .....	90
Figura 21: Seydner mega 10/250/15D .....	91
Figura 22: Análise à compressão .....	93
Figura 23: Provete após ensaio à compressão .....	96

## Índice de tabelas

Tabela 1: Evolução das argamassas desde a antiguidade até ao surgimento do cimento Portland .....	8
Tabela 2: Características mecânicas das argamassas de revestimento para edifícios antigos .....	19
Tabela 3: Tipos de cal de construção .....	23
Tabela 4: Requisitos referentes às propriedades da cal hidráulica .....	24
Tabela 5: Propriedades dos componentes principais do cimento Portland .....	26
Tabela 6: Funcionamento de uma unidade de produção – Controlo de qualidade.....	34
Tabela 7: Conjunto de propriedades a conferir para uma correcta dosagem dos componentes das argamassas .....	36
Tabela 8: Métodos de limpeza adequados ao tipo de mancha.....	46
Tabela 9: Aplicabilidade das técnicas de reabilitação proposta face ao tipo de anomalia .....	47
Tabela 10: Comparação entre os quatro tipos de argamassas .....	54
Tabela 11: Composição das argamassas .....	82
Tabela 12: Massas obtidas durante a realização dos ensaios à capilaridade.....	85
Tabela 13: Valores referentes à absorção por capilaridade.....	85
Tabela 14: Análise de preços.....	98

## Índice de gráficos

Gráfico 1: Evolução da utilização das argamassas fabris secas .....	10
Gráfico 2: Patologias mais frequentes. ....	39
Gráfico 3: Principais causas das patologias. ....	40
Gráfico 4: Principais revestimentos exteriores de paredes.....	58
Gráfico 5: Absorção por Capilaridade – Argamassa A1.....	87
Gráfico 6: Absorção por Capilaridade – Argamassa A2.....	87
Gráfico 7: Absorção por Capilaridade – Argamassa A3.....	88
Gráfico 8: Absorção por Capilaridade – Argamassa A4 .....	89
Gráfico 9: Resistência máxima obtida à flexão .....	92
Gráfico 10: Resistência máxima obtida à compressão.....	94

# CAPÍTULO I

## Introdução

**1.1 Enquadramento**

**1.2 Objectivos**

**1.3 Estrutura da dissertação**

## 1.1 Enquadramento

Ao longo dos anos todas as obras sofrem a acção do tempo e passam a exhibir marcas subtis ou profundas. Nas edificações actuais os elementos construtivos são afectados por uma variedade de agentes externos, como fungos, a própria atmosfera reactiva, mudanças climáticas, até mesmo a acção do homem. No entanto, muitas das patologias causadas pelos agentes seriam evitadas se a edificação fosse impermeável à água e permeável ao vapor de água. Sabe-se que nenhuma argamassa “normal” (cimento, areia e água) é impermeável, como tal, e com o objectivo de garantir a impermeabilização surgiram argamassas com impermeabilizantes incorporados (pré-doseadas) ou nelas adicionados (tradicionais).

A falta de impermeabilização ou mesmo o uso inadequado desta pode por em causa a durabilidade de uma edificação, podendo causar prejuízos financeiros e até mesmo problemas para a saúde. A humidade pode acelerar a degradação das características mecânicas dos materiais e originar o aparecimento de eflorescências ou criptoflorescências, bolor, vesículas e descolamento de reboco rígido. Desta forma, o uso de argamassas de impermeabilização é cada vez mais necessário para um melhor desempenho do edifício. É também importante analisar e ensaiar os produtos disponíveis no mercado.

## 1.2 Objectivos

O objectivo deste trabalho consiste em comparar as argamassas de impermeabilização pré-doseadas com as tradicionais na sua utilização em revestimentos exteriores, verificando qual das argamassas obtêm melhores resultados em ensaios à tracção, compressão e capilaridade. Neste trabalho também são estudadas as patologias mais frequentes em elementos construtivos não impermeabilizados, tendo-se constatado que a utilização deste tipo de argamassas poderá evitar algumas das patologias contribuindo assim para melhorar o comportamento destes elementos face à humidade e o nível da qualidade de construção portuguesa.

---

### 1.3 Estrutura da dissertação

Este trabalho apresenta-se estruturado em 6 capítulos. No presente capítulo é feito o enquadramento do tema desenvolvido, são apresentados os objectivos do trabalho e a estrutura da dissertação.

No capítulo 2 faz-se uma abordagem geral sobre as argamassas. Neste capítulo apresenta-se a origem histórica e a evolução das argamassas, fazendo-se referência à sua constituição, relativamente ao tipo de agregados, ligantes, água de amassadura e adjuvantes/aditivos. Neste capítulo faz-se ainda referência às respectivas normas europeias aos tipos de argamassas, aos conceitos e definições das cinco principais famílias de argamassas. É ainda realizada uma caracterização dos vários tipos de argamassas para revestimentos exteriores, bem como das patologias mais frequentes neste tipo de revestimentos.

No capítulo 3 é desenvolvido um conjunto de tópicos referentes às argamassas de impermeabilização. São apresentados os objectivos, os tipos de argamassas de impermeabilização, bem como uma análise comparativa entre os vários tipos de argamassas, com e sem características impermeabilizantes.

O capítulo 4 é dedicado aos rebocos de impermeabilização. Neste capítulo faz-se uma abordagem de alguns tópicos importantes neste tipo de argamassas como, por exemplo, as principais causas de degradação e a importância da impermeabilização em rebocos.

No capítulo 5 apresentam-se os resultados relativos aos ensaios realizados à flexão, compressão e capilaridade em provetes com dimensões de 4x4x16 cm. Faz-se a comparação entre argamassas tradicionais e pré-doseadas, retirando-se as devidas conclusões.

No capítulo 6 apresentam-se as conclusões mais importantes resultantes do trabalho desenvolvido e perspectivas de trabalho futuro.

No Anexo apresentam-se as tabelas com os resultados parciais obtidos na realização dos ensaios.

# CAPÍTULO II

## Argamassas

### 2.1 Introdução

### 2.2 Evolução histórica das argamassas

### 2.3 Constituição de uma argamassa

### 2.4 Normas europeias para argamassas

### 2.5 Tipo de argamassas

## 2.1 Introdução

Segundo a APFAC (Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção), uma argamassa de construção é um produto que resulta da mistura de um agente ligante com uma carga de agregados. São conhecidas há mais de 8000 anos, sendo tradicionalmente utilizadas para montar e revestir muros e paredes.

Uma argamassa pode ser entendida como uma rocha artificial, resultante de uma mistura de pelo menos um aglomerante, agregados miúdos e água (Figura 1). O agregado mais comum é a areia, embora possa ser utilizado o pó de pedra. O aglomerante pode ser a cal, o cimento ou o gesso, que preenche os vazios existentes no volume de agregados, e vai conceder a coesão à mistura final.

Uma argamassa pode solidificar ganhando formas e volumes, de acordo com as necessidades de cada obra [6,8,9].



**Figura 1:** Constituintes possíveis de uma argamassa: areia, cimento e água. Fonte: [6]

As características das argamassas diferem consoante os materiais utilizados para a sua obtenção, é possível através da utilização de adjuvantes ou aditivos conceder características que irão facilitar a sua aplicação, tais como o retardamento ou a aceleração de presa, o aumento da trabalhabilidade ou da adesão, entre outros [6,8].

Actualmente as argamassas são fundamentais nas mais variadas obras de construção (pontes, barragens, habitações, entre muitas outras), sendo produzidos mais de 100 tipos de argamassas que se apresentam em diferentes formas e possuem as características necessárias para a realização dos mais variados trabalhos numa obra. Existe um grande número de características que conduzem à sua utilização; nomeadamente a boa resistência mecânica (compressão e desgaste), a fácil aplicação, a resistência ao fogo, o bom isolamento térmico e acústico, a boa resistência química aos meios agressivos e a estabilidade dimensional durante a presa e endurecimento [1,6,8].

## **2.2 Evolução histórica das argamassas**

Desde a antiguidade que a evolução dos materiais de construção tem vindo a contribuir para a melhoria da qualidade de vida dos povos. Dentro dos recursos naturais, o homem tentou criar condições favoráveis para se proteger, passando a edificar abrigos. A geologia do terreno influenciava a escolha dos materiais de construção, ou seja; em zonas com pedra o modo de construção seria alvenarias em pedra, na ausência desta, utilizaram-se primeiramente lamas argilosas, que secavam ao sol para erguer paredes, apoiadas em tábuas e paus de madeira. Posteriormente, começaram-se a fabricar elementos de alvenaria, secando ao sol blocos de lama, adobes, frequentemente misturados com palha. Na colagem dos adobes, utilizava-se lamas argilosas. Actualmente ainda existem casas datadas de 6500 AC, cujas alvenarias foram feitas com adobes. No entanto, é fácil perceber que as edificações assim construídas não conferiam a estabilidade e segurança desejada. Como tal, certas civilizações desenvolveram uma massa plástica contendo cal, gesso, areia, pedras, fragmentos de tijolo e água, de modo a conferir maior estabilidade às edificações, a Muralha de China

é um exemplo desse tipo de construção. Foi erguida com blocos de pedras ligados entre si por argamassas feitas de barro [1,5,21].

Os primeiros fornos surgiram há cerca de 10 000 anos, onde era produzida cal por ustulação (processo metalúrgico no tratamento de minérios, normalmente sulfetos, os quais, sob a acção do calor e do oxigénio do ar, formam o metal) de pedra calcária [1,5].

No tempo dos Romanos, não só as técnicas de construção melhoraram como também ocorreu uma melhoria significativa na qualidade das argamassas. Passaram a ser essencialmente constituídas por cinzas vulcânicas ou pozolanas, pó de tijolo ou de telha, cal hidratada, areias e por materiais orgânicos (gorduras). A combinação da cal com a pozolana, uma cinza vulcânica do monte Vesúvio na zona de Pozzuoli, conferia uma grande resistência à argamassa quando em contacto com água, doce ou mesmo salgada. Estas argamassas foram bastante usadas, não só pelos povos Romanos mas também pelas civilizações Fenícias e Gregas. Há mais de 3000 anos que este tipo de material vem sendo utilizado nas diferentes construções. Esta argamassa desenvolvida pelos Romanos tornou-se altamente resistente, já que grandes monumentos como o Coliseu de Roma e a Basílica de Constantino foram construídos com este material [1,2,3].

No século XVIII a evolução das argamassas sofreu mais um passo importante. O Engenheiro britânico John Smeaton confrontado com a necessidade de construir uma estrutura resistente para o Farol de Eddystone na costa da Cornualha, após várias experiências descobriu um tipo de argamassa à base de pedra de calcário, que com uma determinada proporção de argila endurecia mesmo submerso em água, sendo mais tarde aplicada na referida obra [1,2].

Em 1824 deu-se o passo mais importante na evolução das argamassas, o inglês Joseph Aspdin descobriu o fabrico do cimento Portland. No entanto, tinha ainda fracas propriedades, pois não era mais que uma cal hidráulica. O método de fabrico consistia em cozer argila e calcário num forno giratório reduzindo-os a pó, de forma a obter clínquer que era depois moído até se transformar em cimento. O produto depois de moído tinha a cor e características semelhantes à das pedras da ilha de Portland, daí surgir o nome de cimento Portland [1,2,5,7,8].

Na Tabela 1 foram sintetizados os principais aspectos referidos anteriormente.

**Tabela 1:** Evolução das argamassas desde a antiguidade até ao surgimento do cimento Portland

Época/ Século	Materiais de construção utilizados	Constituição das argamassas	Exemplos de obras
6500 AC	Adobes	Lama e palha	Casa de adobe no Punjab, Índia
Românica	Argamassas	Pozolanas, pó de tijolo, cal hidratada e areias	Coliseu de Roma
XVIII	Argamassas	Pedra de calcário com certa proporção de argila	Farol de Eddystone
1824	Argamassas	Cimento Portland	Ponte de Sejães

Contudo várias alterações foram feitas na tentativa de melhorar as suas características. Foi o próprio filho de Aspdin, William Aspdin, que acidentalmente obteve um cimento mais resistente, resultante das elevadas temperaturas de calcinação, que permitiam uma fusão parcial dos constituintes [8].

Os cimentos Portland que conhecemos actualmente foram obtidos devido às várias alterações introduzidas e ao aparecimento de novas tecnologias. Esta descoberta conduziu a uma “alteração” no processo construtivo dos edifícios, conferindo-lhes maior resistência e maior garantia de qualidade. Nascido directamente das matérias-primas que a natureza põe ao nosso dispor, o cimento é hoje o produto mais usado pelo homem para a construção, superando o aço e só excedido pela água.

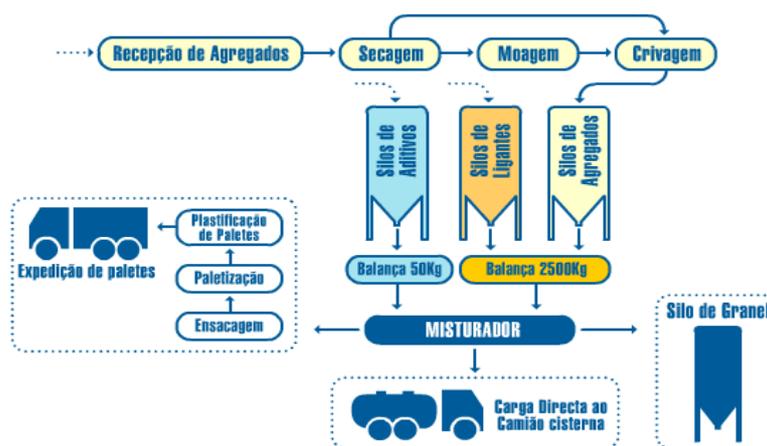
### 2.2.1 Aparecimento das argamassas industriais

A primeira patente de manufactura de argamassas secas na Europa foi registada em 1893. Mas em 1950 as argamassas ainda eram feitas em obra (argamassas tradicionais), o que implicava o transporte das diferentes constituintes da argamassa para a obra (como por exemplo: cimento, areia, água), sendo depois em obra feita a respectiva

mistura dos constituintes, obtendo-se assim a argamassa. Era também necessário ter um grande espaço em obra para armazenar os diferentes materiais bem como para fazer a respectiva mistura. Este processo não conferia total confiança às argamassas produzidas, dado que a rapidez de execução não era a desejada, a qualidade e durabilidade do trabalho quando acabado era posto em causa, a possibilidade do erro humano estava sempre presente, implicava uma medição grosseira dos constituintes das argamassas e implicava uma mão-de-obra especializada para a tarefa de combinar e preparar as argamassas [1,6].

Com a evolução da indústria de construção as exigências tornaram-se mais apertadas, a necessidade do cumprimento dos prazos, de aumentar a qualidade e durabilidade do trabalho acabado, de aumentar a rapidez de execução e de reduzir a quantidade de desperdícios, iria originar a substituição de argamassas feitas em obra por argamassas industriais. Na década de 50 e 60 do século XX, deu-se início à elaboração industrial das argamassas prontas. No entanto, só no início dos anos 90 se iniciou o fabrico deste tipo de argamassas em Portugal, sendo por isso um conceito relativamente recente [1,6,19].

Através da análise da Figura 2 pode ter-se uma noção da produção das argamassas fabris e do modo como estas são armazenadas e transportadas para as obras.

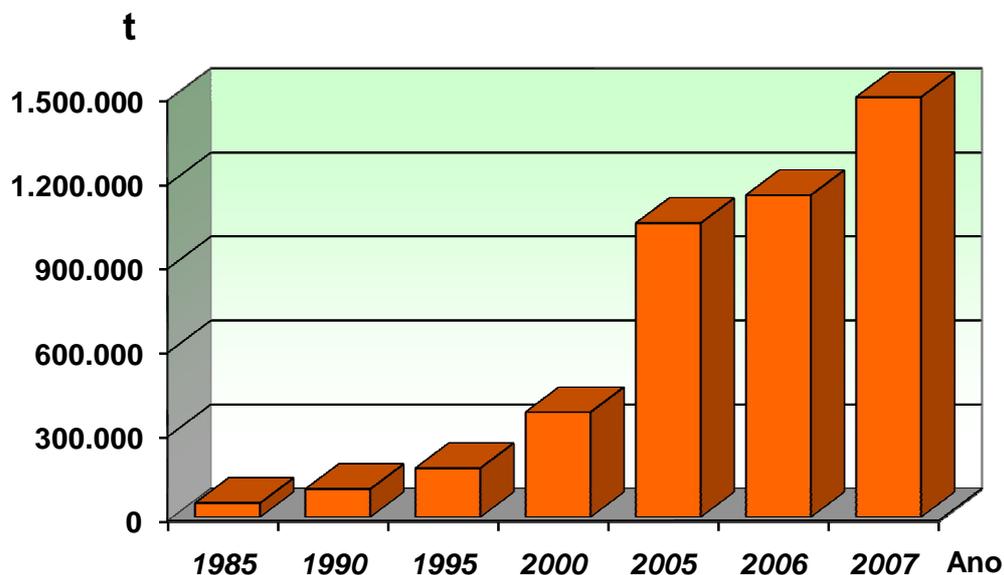


**Figura 2:** Fábrica de produção industrial de argamassas de construção

Fonte: APFAC (Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção)

As argamassas industriais são obtidas através de um processo controlado, o doseamento e a mistura das várias matérias-primas são estudadas de forma a melhorar a qualidade da argamassa. As argamassas industriais têm inúmeras vantagens quando comparadas com as argamassas tradicionais, são argamassas que possuem matérias-primas adequadas, permitem uma maior garantia de qualidade, a possibilidade de ocorrência de erros humanos é menos frequente, existe um maior controlo da operação e conferem ao estaleiro um melhor aproveitamento do espaço disponível [1,6].

Actualmente assiste-se a uma crescente utilização de argamassas fabris secas. No Gráfico 1 pode-se verificar essa evolução expressa em toneladas.



**Gráfico 1:** Evolução da utilização das argamassas fabris secas

Fonte: APAFC (Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção)

### 2.3 Constituição de uma argamassa

Como já foi referido anteriormente as argamassas são essencialmente constituídas por agregados, ligantes e adjuvantes/aditivos. Naturalmente, o tipo de matéria-prima utilizado para a obtenção da argamassa influencia as suas propriedades. As principais

razões para o uso de agregados em argamassas relacionam-se com a estabilidade dimensional e a resistência elevada que proporcionam à mistura; não hidratam, e também por essa razão, não apresentam alterações dimensionais durante e depois da aplicação. A finalidade da adição de ligantes para a obtenção das argamassas é de preencher os vazios existentes entre os agregados, formando uma pasta que ganha presa e endurece em virtude das reacções de hidratação. No entanto, para a adição do ligante existe um rácio considerado “ideal”. Se por um lado, a aplicação do ligante for exagerada, haverá demasiada contracção do ligante durante a secagem da argamassa e poderá originar fissuração; por outro lado, se a quantidade de ligante não for suficiente, haverá demasiada porosidade, o que enfraquece a argamassa. Pode-se então dizer que a quantidade de ligante ideal será aquela que utiliza o volume exacto de ligante para preencher os vazios entre os agregados. A adição de aditivos/adjuvantes à argamassa é feita com o objectivo de alterar algumas características por acção física, mecânica ou química, na tentativa de melhorar propriedades específicas. No entanto, a adição não altera o aspecto visual, excepto no caso em que essa alteração é propositada, como por exemplo a adição de pigmentos [6,8].

### 2.3.1 Agregados

O agregado, geralmente areia e algum cascalho em menor percentagem, ou em alguns casos brita ou cerâmicos fragmentados, é um material granular que actua nas argamassas como elemento inerte. Os agregados não intervêm na reacção de endurecimento da argamassa. Este material é incorporado para diminuir a contracção e tornar o material mais económico. Portugal é um país onde os depósitos de areias são relativamente abundantes, nomeadamente nas Bacias Terciárias do Tejo e do Sado. Contudo, a distância que se encontram dos mercados consumidores limita um pouco o seu interesse económico.

É possível utilizar na construção uma argamassa obtida apenas com cimento e água (pasta de cimento), pois uma argamassa deste género apresenta uma boa resistência. No entanto, uma argamassa assim constituída tem duas grandes desvantagens e daí a sua

não utilização: instabilidade dimensional (fluência elevada e retracção elevada) e um custo elevado (o cimento é um material caro, pois o seu fabrico envolve consumos elevados de energia). Estas desvantagens podem ser ultrapassadas, ou pelo menos minimizadas, acrescentando agregados à pasta de cimento [8,16].

Os agregados classificam-se de diferentes maneiras, segundo a origem, as dimensões das partículas e o seu peso específico aparente [6,8].

### **Segundo a origem**

- Naturais – são todos aqueles que se encontram na natureza e não sofrem qualquer alteração: areia e cascalho. São normalmente constituídos por partículas arredondadas e lisas.
- Industrializados – são todos aqueles que resultam de processos industriais, as matérias-primas para este tipo de casos podem ser: rocha, escória de alto-forno, entre outras. Estes tipos de agregados são angulosos e produzem argamassas com melhor empacotamento entre partículas.
- Reciclados – são todos aqueles que resultam de materiais inorgânicos usados anteriormente, como por exemplo os tijolos ou cerâmicos que contêm uma grande percentagem de argila.

### **Segundo as dimensões das partículas**

- Fino – são as areias, naturais ou britadas, em que as partículas são de menor dimensão e que passam no peneiro de 4 mm.
- Grosso – é o godo, de origem sedimentar; o rolado, calhau ou seixo e as britas (não sendo as últimas utilizadas em argamassas).

## Segundo a massa volúmica

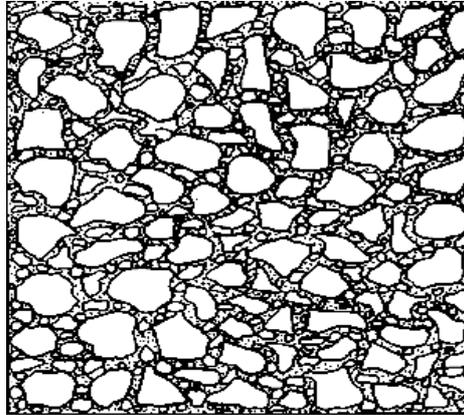
Os agregados são classificados como leves, médios/normais e pesados, mediante a densidade do material que constitui as partículas. Em argamassas de reboco são utilizados agregados leves, naturais ou sintéticos, devido à sua estrutura de elevada porosidade consegue-se garantir uma baixa densidade. A massa volúmica dos agregados considerados de densidade normal oscila entre 2400 e 3000 kg/m<sup>3</sup>. No entanto, a densidade dos agregados leves situa-se normalmente no intervalo 500-2000 kg/m<sup>3</sup> e a densidade dos agregados pesados é superior a 3000 kg/m<sup>3</sup>. Após endurecer a argamassa tem uma densidade aparente inferior a 1300 kg/m<sup>3</sup> [6,8,22].

O mercado proporciona uma grande diversidade de agregados leves para a utilização na construção, a selecção do agregado é feita de acordo com a composição, densidade, textura superficial, capacidade de absorção de água, capacidade de isolamento térmico e acústico. Estudos realizados comprovam que as argamassas compostas por agregados leves apresentam melhor resistência ao ataque de sulfatos. Entre os agregados mais comuns, encontram-se as argilas expandidas, o vidro expandido, a perlite, a vermiculite expandida e cinzas sintetizadas. Uma observação microscópica dos agregados leves permite distingui-los dos restantes agregados pela sua estrutura porosa [40].

Os agregados são normalmente o elemento maioritário das argamassas, daí qualquer anomalia na sua qualidade têm um efeito significativo nas propriedades finais do material. A natureza inerente dos agregados, como a inércia química, o baixo coeficiente de expansão térmica e durabilidade são importantes, mas a forma e a gradação das partículas têm uma influência essencial. Outro aspecto importante é a percentagem e o tipo de contaminantes, que por sua vez depende do local de extracção [6,8].

Um melhor empacotamento entre as partículas produz uma argamassa com menor porosidade, maior resistência mecânica, maior capacidade de retenção de água e conseqüentemente uma melhor trabalhabilidade. Estas características são também melhoradas se a distribuição granulométrica da areia for alargada, pois, os espaços entre

partículas de maior dimensão são preenchidos com partículas mais pequenas, como se pode verificar na Figura 3 [6,8].



**Figura 3:** Efeito do uso de agregados com uma distribuição de tamanhos alargada.

Os agregados mais utilizados na construção civil são a areia e o cascalho. A areia natural é um agregado fino, deve passar quase inteiramente num crivo de 4,5 mm. Através da análise de vários estudos pode-se concluir que os agregados utilizados em argamassas de construção civil apresentam maioritariamente partículas entre os 0,150 e 0,250 mm, são designados de agregados de baixa densidade, ou mesmo de agregados leves (classificação segundo a norma NP EN 13139). Ao invés, o cascalho natural é definido como agregado grosseiro resultante da desintegração ou da abrasão do mesmo tipo de rochas, devendo ser retido quase inteiramente no crivo de 4,5 mm. Este tipo de agregado é, no entanto, encontrado em argamassas em percentagens muito pequenas [6,8].

No que diz respeito à exploração, a areia e o cascalho podem resultar quer da drenagem de depósitos subaquáticos, em rios, lagos e plataformas marinhas, quer da escavação de depósitos continentais. Podem ainda resultar de explorações de pedreiras, sendo necessário efectuar o esmagamento da rocha em britadeiras. Depois de extraídos, passam pelos crivos para a remoção de blocos ou aglomerados de grande dimensão, posteriormente é necessário proceder à lavagem para que sejam limpos de partículas contaminadas [6,8].

Nos últimos anos, com o intuito de seguir os protocolos existentes sobre a redução da poluição e reutilização de resíduos, surgiram outros tipos de agregados para o uso em argamassas, sendo provenientes de diferentes matérias-primas: resíduos da indústria extractiva mineira ou da indústria cerâmica, betão reciclado, escórias de alto-forno entre outros. São bastante explorados pois representam uma boa alternativa económica e atingem algumas propriedades importantes, como por exemplo: menor peso ou características térmicas especiais. A possibilidade de usar plásticos e resíduos domésticos como agregados está actualmente a ser estudada [6,8].

Para que uma argamassa tenha boa funcionalidade é necessário que todos os grãos do agregado estejam envolvidos na pasta de cimento. Para uma boa relação cimento/agregado são fundamentais as seguintes condições [6,8]:

1. Os grãos sejam hidrófilos;
2. Os grãos sejam molhados, pela água ou então pela pasta do ligante;
3. Aderência do ligante ao agregado, sendo necessário ter em atenção as propriedades do último;
4. Bom envolvimento dos grãos de agregado pela pasta do ligante (tornando-se mais difícil à medida que aumenta a forma dos agregados).

Quando não se tem antecedentes sobre a natureza dos agregados disponíveis então devem ser realizados ensaios. No entanto, se o agregado possuir marcação CE pode-se então excluir a realização de ensaios, pois nesses casos o fornecedor de agregados deverá realizar ensaios no seu laboratório ou num laboratório externo acreditado e disponibilizar um boletim de análises mensal correspondente aos ensaios realizados.

A EN 13139:2005 especifica as propriedades dos agregados e das cargas (fillers) com aplicação nas seguintes argamassas:

- ❖ Argamassas de alvenaria;
- ❖ Argamassas para revestimentos de pavimentos;

- ❖ Argamassas para revestimentos de paredes interiores;
- ❖ Argamassas para revestimentos de paredes exteriores;
- ❖ Argamassas para fundação;
- ❖ Argamassas para reparação;
- ❖ Injecções.

As propriedades mais importantes exigidas a um agregado para produzir qualquer tipo de argamassa são de natureza geométrica, física e química, como se passa a referir [6,22]:

1. Adequada forma e dimensões proporcionadas (granulométrica), segundo determinadas regras;
2. Adequada resistência às forças;
3. Adequadas propriedades térmicas;
4. Adequadas propriedades químicas relativamente ao ligante e às acções exteriores;
5. Isenção de substâncias prejudiciais.

Os agregados devem ser armazenados protegendo-os de possíveis impurezas e devidamente separados, evitando assim que as diferentes fracções granulométricas se misturem. Deve-se ainda adoptar as precauções necessárias para evitar a segregação, tanto durante o armazenamento como no transporte.

Através de ensaios realizados [15], nos quais foi feita a comparação de dois tipos de agregados, areia do rio e agregado misto (areia de areeiro com areia do rio), conclui-se que: quando se utiliza unicamente areia de rio a quantidade de água necessária a adicionar para a obtenção de um dado espalhamento é superior à quantidade de água necessária para a obtenção de um mesmo espalhamento utilizando um agregado misto (areia do rio com areia de areeiro, em quantidades iguais). Em termos de consistência,

pode-se afirmar que uma argamassa constituída por agregado misto (areia do rio com areia de areeiro) é ligeiramente mais consistente do que uma argamassa constituída unicamente por agregado de areia de rio, assim como, a retenção de água é superior em argamassa constituída com agregado misto (areia de rio com areia de areeiro) comparativamente com argamassa constituída unicamente com areia de rio. Entende-se que tal facto acontece devido a uma maior presença de argila no agregado. Relativamente à permeabilidade ao vapor de água, a argamassa constituída unicamente com agregado de areia de rio tende a ser mais permeável que a argamassa constituída com agregado misto (areia de rio com areia de areeiro). No entanto, uma maior compacidade da argamassa constituída com agregado misto contribui para uma redução da absorção capilar de água.

Em conclusão, de um modo geral as argamassas constituídas com agregado misto (areia de rio com areia de areeiro) são benéficas a nível de redução da quantidade de água de amassadura, aumento da consistência das argamassas e redução da absorção capilar [15].

### **2.3.2 Ligantes**

Os ligantes são materiais finamente moídos que quando misturados com a água formam uma pasta que ganha presa e endurece em virtude das reacções de hidratação, promovendo assim a reunião dos grãos. A escolha do ligante para uma obra de construção civil não pode ser feita de forma aleatória, não é uma questão de uma marca comercial, mas das características intrínsecas do produto. As condições que uma obra enterrada está sujeita, como caves e fundações, não são as mesmas que uma obra que se constrói acima do solo. As águas quimicamente agressivas como as águas de esgotos domésticos, exigem condutas com ligantes especiais. Em elementos pré-esforçados, por exemplo nas pontes, o ligante a colocar no betão terá que atingir resistências bastante elevadas num curto espaço de tempo.

Os tipos de ligantes existentes para as argamassas de construção são: gesso, cimento e a cal, este último subdivide-se em dois grupos, cal aérea e a cal hidráulica, por sua vez a cal hidráulica subdivide-se em três grupos, aditivos pozolânicos naturais, calcinação da pedra calcária com argila e pós e fragmentos de tijolos e outros cerâmicos, como se pode verificar na Figura 4. Os ligantes podem ser utilizados de forma unitária ou serem combinados, sempre que sejam compatíveis entre eles. Assim pode-se aproveitar as propriedades mais interessantes de cada constituinte e assim atingir uma argamassa final mais satisfatória. Pode ser utilizada uma mistura de ligantes entre cal e gesso ou cal e cimento, denominadas argamassas bastardas.

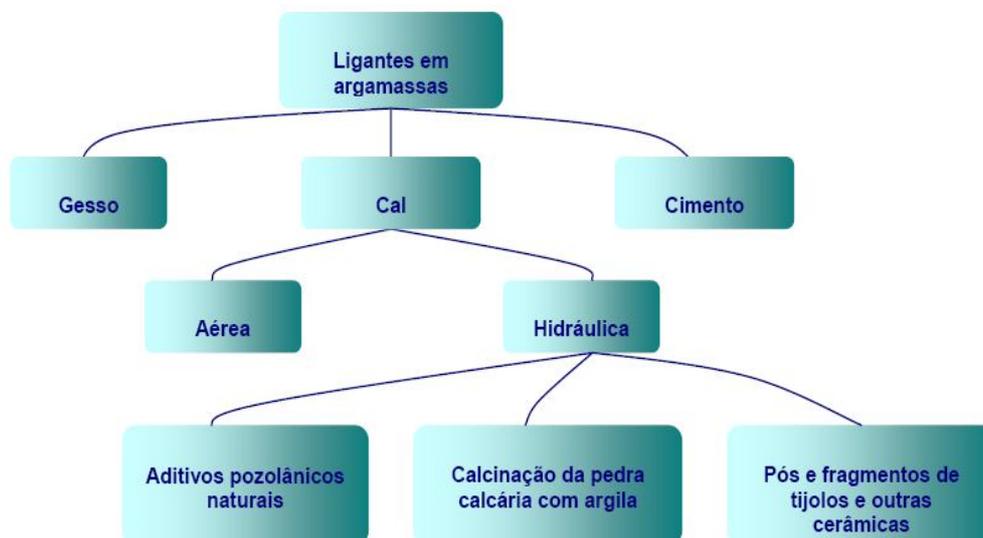


Figura 4: Ligantes para argamassas. Fonte: [8]

### 2.3.2.1 Ligantes de cal

Até ao início do século XX a cal era o ligante mais utilizado na preparação das argamassas e com mais importância na construção, normalmente todos os edifícios da época eram rebocados com base em argamassas de cal. No início do século XX e com o aparecimento do cimento Portland, este tipo de argamassa caiu em desuso. No entanto, actualmente, o interesse pelo uso deste tipo de ligante em argamassas volta a suscitar importância científica e técnica devido à incompatibilidade entre as novas argamassas e

as existentes nos edifícios antigos. O recurso a ligantes de cal para a obtenção das argamassas tem vindo a aumentar nos últimos anos devido à necessidade, cada vez maior, de recuperar e reabilitar edifícios antigos e preservar o património edificado [37]. Na Tabela 2 são apresentados os requisitos estabelecidos para as características mecânicas das argamassas de revestimento para edifícios antigos [41].

**Tabela 2:** Características mecânicas das argamassas de revestimento para edifícios antigos

Uso	Características Mecânicas (MPa)			Aderência (MPa)	Comportamento à retracção restringida			
	Rt	Rc	E		Fr <sub>máx</sub> (N)	G (N.mm)	CSAF	CREF
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
Reboco interior	0,2-0,7	0,4-2,5	2000-5000		< 70	> 40	> 1,5	> 0,7
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

**Rt** – Resistência à tracção; **Rc** – Resistência à compressão; **E** – Módulo de elasticidade; **Fr máx** – Força máxima induzida por retracção restringida; **G** – Energia de rotura à tracção; **CSAF** – Coeficiente de segurança à abertura da 1ª fenda:  $CSAF = Rt/Fr\ máx$ ; **CREF** – Coeficiente de resistência à evolução da fendilhação:  $CREF = G/Fr\ máx$ . Fonte: [41]

Uma característica importante do ligante de cal é o seu grau de hidraulicidade, ou seja, a capacidade de adquirir presa debaixo de água sem contacto com o dióxido de carbono da atmosfera. No estado fresco a cal proporciona uma maior plasticidade à argamassa, permitindo assim melhor trabalhabilidade e, naturalmente, maior produtividade na execução do revestimento. Outra propriedade importante da cal no estado fresco é a retenção de água, não permite a sucção excessiva de água pela base. Para a produção da cal, a calcite, ou carbonato de cálcio,  $CaCO_3$ , a rocha de origem passa por um processo de calcinação durante o qual o dióxido de carbono é libertado ficando como produto de reacção um pó branco, óxido de cálcio,  $CaO$ , muitas vezes referido como cal viva. Para tal são necessárias temperaturas entre os 900 e os 1350 °C, bastante mais elevadas do que na produção do gesso [6,8].

Como já foi referido, a cal vem sendo utilizada como um constituinte das argamassas há muitas gerações, pode-se utilizar este tipo de ligante em muitas variedades de argamassas trazendo-lhe muitas vantagens. Aproveitando as suas propriedades mecânicas são usadas para junção em alvenaria ou ainda como suporte para pavimentos. A estética agradável, a resistência e a permeabilidade ao vapor de água permite-lhe também ser utilizada como reboco, embora seja mais recomendável para aplicação em revestimentos interiores do que propriamente em revestimentos exteriores. Apesar da sua elevada permeabilidade ao vapor de água, esta tem uma enorme permeabilidade à água líquida o que para revestimentos exteriores não é aconselhável. Em revestimentos exteriores podem-se utilizar argamassas à base de cal e obter as características de impermeabilização à água semelhantes às obtidas com siloxanos, mas para isso é necessário aplicar um primário de polisiloxano [20].

De acordo com a norma NP EN 459-1:2002, existem diferentes tipos de cal, nos quais se destacam a cal aérea e a cal hidráulica.

#### o **Cal Aérea**

Dada a sua fácil obtenção as argamassas de cal aérea foram utilizadas durante séculos. São essencialmente constituídas por óxido ou hidróxido de cálcio as quais endurecem lentamente ao ar por reacção com o dióxido de carbono da atmosfera ( $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$ ). No entanto, este processo de endurecimento é um fenómeno muito lento e acontece de uma forma progressiva ao longo de toda a vida da argamassa. Só as mais puras formas de pedra calcária podem produzir uma cal razoavelmente pura para a sua presa depender apenas da carbonatação ao ar. A cal aérea geralmente não tem propriedades hidráulicas, como tal, não tem a capacidade de ganhar presa debaixo de água. Estas argamassas podem apresentar carácter hidráulico caso sejam adicionadas algumas substâncias pozolânicas, ou então quando a quantidade de argilas ou silicatos na rocha de origem exceder 10% em massa. Devido a esta cal ser produzida a partir de materiais naturais, as qualidades da presa poder-se-ão alterar ao adicionar pequenas percentagens de sílica, alumina ou outros minerais argilosos ao seu conteúdo. [6,8,26].

As melhores argamassas de cal aérea são obtidas se existir um período de desenvolvimento em água (cobertas de água para evitar a carbonatação) antes da sua colocação. Este facto deve-se ao incremento da homogeneidade e trabalhabilidade do material, que por sua vez está relacionado com a coerência do arranjo entre as partículas quando estas estão em água [6,8,23].

Se houver um processo de mistura entre os constituintes todas as argamassas beneficiam, a capacidade das partículas poderem deslizar umas sobre as outras e sobre as superfícies adjacentes sem interferências mútuas, proporciona uma melhor trabalhabilidade da argamassa. Este processo vai aumentar a resistência da argamassa pois garante que a hidratação da cal será completa [6,8].

A utilização de cal em argamassas tem algumas desvantagens entre as quais o tempo de presa e o endurecimento os quais são bastante lentos, o que por outro lado pode ser vantajoso para a aplicação em climas de elevada humidade. Outro inconveniente é a contracção volúmica durante a presa que pode gerar tensões críticas e fractura, especialmente em grandes volumes. Os baixos valores de resistência mecânica e coesão interna e a elevada porosidade torna a argamassa susceptível à cristalização de sais e à degradação devido ao gelo-degelo. A classificação da cal aérea é feita de acordo com o seu teor de (CaO + MgO) [6,8].

As argamassas de cal possuem uma série de características mecânicas que as compatibilizam com as estruturas dos edifícios antigos daí serem consideradas por diversos autores, como as mais adequadas para a recuperação e reabilitação dos mesmos. São argamassas muito macias e plásticas (facilidade de aplicação), assim como porosas e permeáveis. Tradicionalmente, e de modo a facilitar a posterior mistura com os agregados, a cal aérea era usada em pasta, ou seja, completamente imersa em água, esse método também a prevenia de qualquer carbonatação. A obtenção da argamassa consistia então, na mistura dessa pasta com os agregados. Actualmente, o método para a obtenção de uma argamassa de cal aérea é diferente pois utiliza-se a cal aérea em pó [36].

o **Cal hidráulica**

A utilização de cal hidráulica na construção vem sendo usada durante séculos de uma forma empírica. Foi principalmente durante os últimos cem anos que este tipo de argamassa se desenvolveu [36]. Devido à sua componente hidráulica, todos os tipos de cal hidráulica têm capacidade de endurecer debaixo de água. Quando em contacto com a água ocorre um período de hidratação rápida durante o qual é formada uma camada de produtos de hidratação à superfície das partículas, funcionando como uma barreira entre o material não hidratado e a fase líquida. Esta película formada é semipermeável, desacelerando a hidratação por um período que nas argamassas de cimento é denominado dormente. A duração deste período depende, principalmente, da composição da cal hidráulica ou do cimento. Após este período a reacção de hidratação acelera novamente e a argamassa inicia o seu processo de endurecimento [36]. São produzidas por calcinação de calcários mais ou menos argilosos com redução a pó por extinção, com ou sem moagem. Tal como no caso da cal aérea o dióxido de carbono atmosférico também contribui para o processo de endurecimento [6,8].

Actualmente as argamassas à base de cal hidráulica são uma mais-valia ao nível da reabilitação de edifícios antigos, pois possuem características vantajosas que permitem atingir os objectivos pretendidos. Proporciona às argamassas uma boa trabalhabilidade; boa aderência às superfícies; redução da fissuração (devido à sua adesividade, e baixa retracção); boa resistência mecânica; maior rentabilidade de mão-de-obra e bom acabamento final, contribuindo dessa forma para o aumento da qualidade das edificações [6,8].

A cal hidráulica além de ser utilizada na reabilitação de edifícios antigos é também utilizada numa grande variedade de construções de engenharia civil. Pode ser utilizada na formulação de amassaduras para obter blocos para alvenaria, lancis, patelas, e outros artefactos. A cal hidráulica é também usada como *filler* nos pavimentos betuminosos, melhorando a resistência à penetração das águas, a consistência e a resistência à fissuração. Mais recentemente é utilizada como estabilizador de determinados solos argilosos e húmidos, permite a estabilização através da diminuição da humidade. Na

Tabela 3 apresentam-se todos os tipos de cal disponíveis para a utilização na construção [36,38].

**Tabela 3:** Tipos de cal de construção<sup>a</sup>

Designação	Notação
Cal calcária 90	CL 90
Cal calcária 80	CL 80
Cal calcária 70	CL 70
Cal dolomítica 85	DL 85
Cal dolomítica 80	DL 80
Cal hidráulica 2	HL 2
Cal hidráulica 3,5	HL 3,5
Cal hidráulica 5	HL 5
Cal hidráulica natural 2	NHL 2
Cal hidráulica natural 3,5	NHL 3,5
Cal hidráulica natural 5	NHL 5

<sup>a</sup> Em complemento, a cal aéreas é classificada de acordo com as suas condições de fornecimento, em cal viva (Q) ou cal hidratada (S). No caso particular de cal dolomítica hidratada, o grau de hidratação é identificado por S1:semi-hidratada ou por S2:totalmente hidratada.

Fonte: [36]

Através de análise da Tabela 3 pode verificar-se, por exemplo, que a cal calcária 70 apresenta em teor de  $(CaO + MgO) = 70$ . Na Tabela 4 estão estabelecidos o conjunto de requisitos referentes às propriedades da cal hidráulica [36].

Tabela 4: Requisitos referentes às propriedades da cal hidráulica

Requisitos		Valores	
Requisitos químicos	Cal livre (%)	$\geq 3$	
	Sulfatos (%)	$\leq 7$	
Requisitos resistências mecânicas	Compressão 7 dias (MPa)	$\geq 2$	
	Compressão 28 dias (MPa)	$\geq 5$	
Requisitos Físicos	Finura % Resíduo em	90 $\mu\text{m}$	$\leq 15$
		200 $\mu\text{m}$	$\leq 15$
	Água livre (%)	$\leq 2$	
	Expansibilidade (mm)	$\leq 20$	
	Penetração (mm)	$10 < \text{Pentr.} < 50$	
	Teor de ar (%)	$\leq 20$	
	Tempo de presa (h)	Início	$> 1$
		Fim	$\leq 15$

Fonte: [36]

### 2.3.2.2 Ligantes de gesso

O gesso é constituído por sulfato de cálcio,  $\text{CaSO}_4$ , que se obtém naturalmente de forma hidratada. Este tipo de ligante foi utilizado durante muitos anos na construção devido à sua qualidade de presa rápida. A utilização do gesso implica duas desvantagens a ter em atenção; baixa resistência e solubilidade nas águas pluviais. Desta forma a sua utilização direcciona-se para climas secos ou para a utilização no interior dos edifícios, como por exemplo em rebocos interiores ou aproveitando a sua presa rápida para revestimentos multi-camadas (primeiras camadas) [6,8].

As desvantagens mencionadas anteriormente podem ser atenuadas usando misturas de gesso e cal. Aproveitando as vantagens dos dois materiais, podem-se obter rebocos altamente efectivos de endurecimento rápido, resistentes e sem contracção na presa. Devido ao surgimento de novos tipos de ligantes, mais resistentes e de maior durabilidade, a utilização de gesso na produção de argamassas diminuiu

significativamente. Actualmente é difícil encontrá-lo como componente único num ligante de argamassa [6,8].

Em Portugal a produção de gesso é reduzida, quando existe a necessidade de utilização de gesso em grande escala recorre-se à importação, principalmente, da Espanha. Actualmente, o gesso produzido em Portugal tem falta de qualidade, limitando-se assim a sua aplicação, no entanto, é satisfatório como aditivo de cimentos [6,8].

### 2.3.2.3 Ligantes de cimento

O cimento é praticamente produzido a partir de uma mistura de matérias-primas calcárias e argilosas e geralmente contém óxidos, nas seguintes proporções: cálcio 60-65%, silício 20-24%, alumínio 6-10%, magnésio 1% e ferro até 3,5%. Actualmente, o cimento é o ligante preferencial para o uso em argamassas, nomeadamente em argamassas de alvenaria [27]. É um ligante hidráulico, ou seja, tem a capacidade de ganhar presa e endurecer por via de reacção de hidratação, tanto ao ar como debaixo de água. Quando misturado com agregados tem a capacidade de formar argamassas ou betões devido ao seu poder aglomerante. É um produto com grande durabilidade e devido ao seu teor em ferro tem habitualmente cor escura (cimentos comuns). No entanto, existem tipos de cimento com teores de ferro muito baixos e por isso são praticamente brancos, estes cimentos são conhecidos como Portland branco. Para o fabrico de argamassas pode-se utilizar tanto o cimento comum como o cimento branco, embora a selecção e dosificação dos cimentos deva ser realizada em função do tipo de argamassa pretendido.

No cimento Portland para além de se poderem modificar determinadas características durante a fase de produção, satisfazendo certas necessidades da obra, podem-se também conseguir essas alterações através de adição de aditivos na mistura. A utilização destes aditivos em cimentos é actualmente uma alternativa muito importante por se tratar de produtos facilmente disponíveis na natureza ou manipulados industrialmente.

A Tabela 5 mostra as proporções, em média, dos componentes do cimento Portland e algumas das suas propriedades mais significativas. É de realçar que estas são percentagens médias e existem ainda outros componentes presentes em quantidades muito pequenas, como óxidos de cálcio, de magnésio entre outros.

**Tabela 5:** Propriedades dos componentes principais do cimento Portland

Nome	Abreviatura	Proporções médias	Propriedades
Silicato tricálcico	C <sub>3</sub> S	60	Desenvolvimento rápido de resistência; responsável pela resistência a curto prazo; calor de hidratação relativamente baixo.
Silicato dicálcico	C <sub>2</sub> S	20	Desenvolvimento lento de resistência; responsável pela resistência a médio/longo prazo; calor de hidratação muito baixo.
Aluminato tricálcico	C <sub>3</sub> A	8	Presença muito rápida; baixa resistência ao ataque químico; calor de hidratação elevado.
Aluminoferrite tetracálcica	C <sub>4</sub> AF	12	Contribuição baixa para a presa ou para o desenvolvimento da resistência – fase de baixo valor hidráulico; responsável pela cor cinzenta do cimento.

Fonte: [6]

As características principais do cimento Portland que se relacionam com a sua composição química são [6]:

- Resistência a agressões químicas. Grande durabilidade, isto se, a obtenção do cimento for bem elaborada (baixa porosidade, relação ligante / água adequado, entre outros).
- Elevada resistência mecânica.

- Instabilidade volúmica. Devido a uma diminuição de volume das suas fases hidratadas, o cimento sofre contracção através do processo de hidratação. Posteriormente, devido à rápida evaporação da água, a chamada retracção hidráulica também acontece.
- Calor de hidratação. As reacções de hidratação dos cimentos são exotérmicas. O rápido desenvolvimento de calor no sistema pode levar à evaporação rápida da água e com isso poderão surgir fissuras.

Certas características mencionadas anteriormente contrariam o uso de cimento em argamassas para a reabilitação, excepto naqueles casos particulares em que a argamassa a reabilitar é de um edifício moderno onde este tipo de ligante já havia sido aplicado. Em argamassas de reabilitação de edifícios antigos não é aconselhável a aplicação deste tipo de ligante pois apresenta diversos problemas como tem sido demonstrado em vários estudos. O uso de cimento confere às argamassas determinadas características que são incompatíveis com as antigas argamassas de cal, designadamente; elevada resistência mecânica; elevado módulo de elasticidade; insuficiente permeabilidade ao vapor de água e a presença de hidróxidos alcalinos que podem reagir com as soluções salinas que penetram por capilaridade, originando sais solúveis.

Concluindo, na escolha de qualquer protector de superfície deve-se ter em conta variados factores, como: a estética (existem produtos transparentes, pigmentados ou que conferem brilho); a permeabilidade à água líquida; a permeabilidade ao vapor de água; o tipo de elemento construtivo; a relação custo/benefício e o tempo de vida útil [34].

### 2.3.3 Água de amassadura

Para que as propriedades das argamassas não sejam afectadas a água da amassadura não deve conter substâncias perigosas em quantidades consideráveis, pois, a água pode afectar as resistências mecânicas, químicas e a compacidade das argamassas. Em termos

gerais, para que todos os requisitos mínimos exigidos às argamassas sejam respeitados, a água a utilizar na amassadura deverá ser toda ela potável.

#### **2.3.4 Adjuvantes e aditivos**

Os adjuvantes e aditivos têm como finalidade modificar as propriedades das argamassas ajudando-as a alcançar determinadas funções e objectivos. Os adjuvantes e aditivos considerados mais úteis para as argamassas são os hidrófugos; promotores de aderência; introdutores de ar; aceleradores e retardadores de presa; plastificantes; fibras; fungicidas; retentores de água; pigmentos; cargas leves e pozolanas naturais e artificiais [28]. Os aditivos resolvem problemas de colocação em obra (prazos, consistência, entre outros) e melhoram o desempenho das argamassas, como por exemplo [6]:

- Melhorar a trabalhabilidade;
- Acelerar a presa;
- Retardar a presa;
- Acelerar o endurecimento nas primeiras idades;
- Aumentar a resistência aos ciclos de gelo-degelo;
- Diminuir a permeabilidade aos líquidos;
- Impedir a segregação e a sedimentação dos seus constituintes;
- Criar uma ligeira expansão na argamassa;
- Produzir argamassas leves;
- Produzir argamassas coloridas.

## 2.4 Normas europeias para argamassas

Desde 2004, que se tem vindo a desenvolver normas europeias no sentido de homogeneizar as normas de cada país tendo em vista a implementação da marcação CE, aplicáveis às seguintes argamassas:

- Colas de construção (segundo a EN 12004) desde 2004.04.01
- Argamassas de pavimento (segundo a EN 13813) desde 2004.08.01
- Argamassas de reboco (segundo a EN 998-1) desde 2005.02.01
- Argamassas de alvenaria (segundo a EN 998-2) desde 2005.02.01 [1]

A marcação CE tem como objectivo promover a harmonização técnica no domínio da construção, através da progressiva substituição das inúmeras normas, sistemas de aprovação, de conformidade ou de certificação existentes a nível nacional, os quais ainda constituem uma dificuldade à livre e fácil circulação dos produtos abrangidos [18].

A marcação CE surge como um sistema de comprovação da conformidade dos produtos marcados com os Requisitos Essenciais (1- Estabilidade e resistência mecânica; 2- Segurança ao fogo; 3- Higiene, saúde e ambiente; 4- Segurança na utilização; 5- Protecção contra o ruído; 6- Economia de energia e retenção do calor). É um “Livre-trânsito” indispensável para a circulação de produtos no Espaço Económico Europeu e permite a distinção no mercado dos produtos de maior qualidade, garantindo a segurança dos utilizadores dos produtos de construção [18].

Esta uniformização representa um grande passo em termos da caracterização e da comparação de diferentes produtos destinados ao mesmo fim com grandes vantagens, quer para os fabricantes quer para os “utilizadores” [18].

Através da marcação CE os fabricantes assumem [18]

- A responsabilidade pela conformidade do produto que colocam no mercado com as características que declaram.

- Que o produto foi submetido a procedimentos de avaliação e de controlo de qualidade adequados, de acordo com o estabelecido na norma do produto e na norma europeia.

O fabricante é obrigado a realizar ensaios regulares de controlo de produção na fábrica, ou a subcontratar a sua realização a um laboratório exterior. Estes ensaios regulares incidem obrigatoriamente sobre as características declaradas. Permitem ao fabricante actuar de forma mais adequada em caso de detecção de não-conformidades [18,44].

Todos os fabricantes que estejam em conformidade com a marcação CE estão a vender o produto de acordo com a lei, têm qualidade de produção, maior valorização dos seus produtos e conformidade com requisitos legais. A marcação CE proporciona a todos os consumidores, além das vantagens atrás mencionadas, garantia da qualidade mínima e regularidade dos produtos e informação clara acerca deles [18].

## 2.5 Tipos de argamassas

Cada argamassa tem um uso específico, e cada uma deve ser utilizada consoante as suas próprias características. Na escolha de uma argamassa deve ter-se em conta [10]:

- O tipo de edifício;
- A época de construção;
- O clima da região;
- As condições ambientais a que estará sujeita.

Assim como as argamassas têm vários tipos de utilizações, também estas são diferenciadas entre si, existindo igualmente vários géneros de argamassas. Entre estas distinguem-se essencialmente cinco grandes famílias [1,6,8,9]:

- Argamassas de assentamento de alvenaria;
- Argamassas para reboco;

- Cimento cola;
- Argamassas para juntas;
- Argamassas para regularização de pavimentos (betonilhas).

Outra forma de caracterizar as argamassas é através do local de fabrico distinguindo-se em três grupos [6]:

- Argamassas tradicionais (ou feitas em obra);
- Argamassas industriais;
- Argamassas industriais semi-acabadas:
  - Argamassas pré-doseadas;
  - Argamassas pré-misturadas.

### 2.5.1 Conceitos e definições

#### ➤ Argamassas de assentamento de alvenaria

Estas argamassas permitem a estabilidade das estruturas, são utilizadas na união de tijolos ou blocos permitindo o assentamento de elementos de alvenaria (Figura 5). Contribuem para um melhor isolamento térmico e acústico. Podem ser utilizadas em camadas finas ou espessas. Encontram-se disponíveis no mercado nacional quer em saco quer a granel [1,6,8,16].



**Figura 5:** Argamassa de alvenaria (união de estruturas). Fonte: [1]

### ➤ Argamassas para reboco

Este tipo de argamassas é utilizado no revestimento de muros e paredes e dividem-se em argamassas de estuque e de reboco (Figura 6) [44]. Como reboco, as argamassas providenciam uma superfície protectora, plana e regularizadora, que pode eventualmente receber um tratamento decorativo final, podendo ter vários aspectos, texturas ou cores. Este tipo de argamassa pode variar bastante em resistência e porosidade, mas na prática são preferidas aquelas que



**Figura 6:** Argamassa de reboco  
Fonte: [1]

têm a capacidade de absorver e libertar vapor de água. A grande maioria das argamassas de reboco é baseada em cimento, cal ou misturas de cimento e cal ou gesso e cal, que têm a vantagem de endurecerem rapidamente, sem grande contracção na secagem. Quando o ligante é essencialmente gesso as argamassas passam a ser consideradas argamassas de estuque. Os requisitos para uma argamassa deste tipo são idênticos aos dos rebocos, no entanto os estuques são, de uma forma geral, menos resistentes e com menor durabilidade [1,6,8,16]. As características referentes a estas argamassas são mais aprofundadas no capítulo IV.

### ➤ Cimento cola

Este cimento é obtido através de uma mistura de ligantes hidráulicos, de cargas minerais e de aditivos orgânicos. São utilizados para colocação de elementos cerâmicos pavimentos e revestimentos (Figura 7). Pode ser directamente aplicado sobre a parede ou chão. Para obter este tipo de argamassa adiciona-se água ao cimento cola imediatamente antes da sua utilização. Este tipo de cimentos encontra-se



**Figura 7:** Cimento – Cola  
Fonte: [1]

disponível no mercado nacional em saco [1,6,8,16].

### ➤ Massas para juntas

Esta argamassa é usada no preenchimento das juntas em revestimentos, pavimentos, piscinas, louça sanitária e sobre todo o tipo de peças cerâmicas ou pedra natural (Figura 8). Pode ser aplicada em zonas secas, húmidas ou molhadas. Esta argamassa tem três tipos de funções: estética (apresentando uma cor semelhante ao elemento de cerâmica), funcional (tendo propriedades impermeabilizantes) e mecânica (permitem que o revestimento cerâmico possa sofrer fenómenos naturais de expansão ou retracção sem comprometer o seu desempenho). [1,6,8,16].



**Figura 8:** Argamassas para juntas  
Fonte: [1]

### ➤ Argamassas para regularização de pavimentos (betonilhas)

São argamassas destinadas a nivelar e alisar os pavimentos para que estes fiquem prontos a ser revestidos pelos mais diversos materiais (como por exemplo azulejo ou flutuante) (Figura 9). A sua qualidade essencial é a elevada resistência à compressão, e os materiais que lhe podem conferir essa característica são a cal e, preferencialmente, o cimento [1,6,8,16].



**Figura 9:** Argamassas para regularização de pavimentos. Fonte: [1]

Todas estas argamassas durante o seu processo de elaboração passam por uma quantidade de ensaios importantes para a obtenção de uma melhor qualidade da argamassa. Na Tabela 6 apresentam-se os vários ensaios pelos quais as argamassas passam durante a sua produção.

**Tabela 6:** Funcionamento de uma unidade de produção – Controlo de qualidade

		C. Cola	Argamassas de Reboco	Argamassas de Alvenaria	Juntas	Argamassas para Pavimentos
1º Nível	Densidade em Pó	X	X	X	X	X
	Granulometria	X	X	X	X	X
	Tempo de Ajustabilidade	X	X	X		
	Cor	X	X	X	X	X
	Trabalhabilidade / Consistência	X	X	X	X	X
	% H <sub>2</sub> O	X	X	X	X	X
2º Nível	Densidade em Pasta		X	X		
	Consistência por Espalhamento		X	X		
	Densidade em Endurecido		X	X		
	Resistência à Flexão		X	X		X
	Resistência à Compressão		X	X		X
	Absorção de Água por Capilaridade		X	X		
	Retenção de Água		X			
	Conteúdo de Ar		X			
	Aderência ao Suporte		X	X		
	Aderência à Tracção	X				
Tempo de Aberto com Tracção	X					

Fonte: [1]

Através da análise da Tabela 6 podemos verificar que o fabrico de argamassas de reboco são as que implicam um maior rigor e controlo durante a sua produção, já que no primeiro nível têm que se realizar todos os ensaios, enquanto no segundo nível apenas a aderência à tracção e o tempo aberto com tracção não são necessários realizar. No entanto a produção de argamassas para juntas não implica um controle tão rigoroso, podemos verificar que no primeiro nível não é necessário realizar ensaios relativamente ao tempo de ajustabilidade e no segundo nível nenhum dos ensaios é necessário.

### 2.5.2 Caracterização das argamassas segundo o local de fabrico

➤ **Argamassas tradicionais (ou feitas em obra)**

Neste tipo de argamassas o processo de dosagem e mistura dos vários constituintes da argamassa (por exemplo: cimento, areia e água) é feito no local da obra [1,16].

➤ **Argamassas industriais**

Estas argamassas são obtidas em fábrica através de um processo de pré-dosagem controlado. Estas podem ser apresentadas de duas formas distintas, já amassadas e prontas a aplicar (“em pasta”), ou em pó, o que requer simplesmente a adição de água [1,16].

➤ **Argamassas industriais semi-acabadas**

São argamassas que podem ser modificadas na obra. Destas destacam-se dois tipos sendo eles [16]:

○ **Argamassas pré-doseadas**

Os componentes são doseados em fábrica mas a mistura é feita em obra seguindo as instruções e condições do fabricante [16,44].

○ **Argamassas pré-misturadas:**

Os componentes são doseados e misturados em fábrica sendo depois fornecidos para a obra onde serão adicionados outros componentes especificados pelo fabricante [16].

### 2.5.3 Argamassas para revestimentos exteriores

As argamassas secas industriais destinadas à execução de revestimentos exteriores, embora com grande tradição em outros países europeus, são uma realidade relativamente recente em Portugal. Com efeito, as primeiras argamassas deste tipo começaram a ser produzidas no início dos anos 90, do século XX. Na escolha de uma argamassa para um revestimento exterior deve-se ter sempre em conta três factores: A localização do edifício, o contexto onde se insere e o tipo de ocupação [17].

O desempenho das argamassas de revestimento pode ser afectado pela inadequação do produto associada à falta de controlo [32]. Para conferir a correcta dosagem dos componentes das argamassas deve-se avaliar um conjunto de propriedades no estado fresco, no estado endurecido e no período de uso. Essas propriedades estão patentes na Tabela 7 [35].

**Tabela 7:** Conjunto de propriedades a conferir para uma correcta dosagem dos componentes das argamassas

	<b>Estado fresco</b>	<b>Estado endurecido</b>	<b>Período de uso</b>
1	Consistência e retenção de consistência	Resistência mecânica – compressão, tracção, desgaste superficial	Durabilidade
2	Coesão	Resistência ao fogo	Resistência ao congelamento
3	Tixotropia	Resistência ao ataque por sulfatos ou outros agentes químicos	-
4	Plasticidade	Capacidade de deformação	-
5	Retenção de água	Retracção	-
6	Massa específica	Aderência	-
7	Conteúdo de ar	Permeabilidade	-
8	Adesão inicial	Condutividade térmica	-
9	Trabalhabilidade	-	-

Para a aplicação das argamassas em revestimentos exteriores é necessário ter em atenção a adequação às várias agressões a que estará exposta. Estas têm um papel importante na protecção das alvenarias (paredes ou muros) contra a penetração de chuva, poeiras, gases e ventos, afectando directamente a sua durabilidade. Apresentam também um papel importante na estanqueidade à água, condicionam o aspecto estético dos edifícios e influenciam o isolamento térmico. Servem para revestir, proteger, impermeabilizar e decorar, entre outros.

Para que todos os revestimentos exteriores argamassados obtenham um bom desempenho nas diferentes edificações é necessário cumprir determinados requisitos, como por exemplo:

- Capacidade de absorção;
- Aderência à base ou suporte (capacidade de sofrer deformações sem deslocar, rugosidade e preparo da base);
- Baixa permeabilidade ou impermeabilização à água em zonas não-fendilhadas;
- Trabalhabilidade;
- Resistência à fendilhação;
- Permeabilidade ao vapor de água;
- Resistência aos choques;
- Aspecto estético e durabilidade.

De um modo geral, para se obter um bom revestimento com argamassas são fundamentais as seguintes camadas: base de revestimento e argamassas de preparo da base (chapisco), de regularização (emboço) que pode constituir-se num revestimento de camada única e de acabamento (reboco) [14].

### 2.5.3.1 Patologias

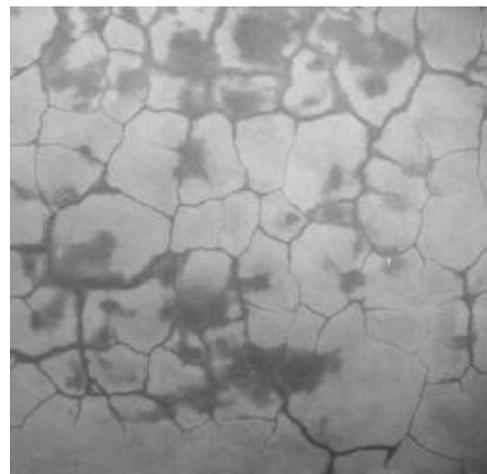
Actualmente existe uma enorme variedade de revestimentos de paredes, conseqüentemente, uma grande variedade de anomalias, sendo que algumas afectam a generalidade dos revestimentos e acabamentos [34].

Existem muitos factores que podem afectar o desempenho das argamassas de revestimento e provocar patologias, trazendo prejuízos às edificações. A qualidade dos agregados e aglomerantes, uma má execução do revestimento, agentes externos como por exemplo a humidade, ar, sol, alcalinidade do substrato, movimentação higrométrica do revestimento e a composição química das tintas, são alguns exemplos dos agentes que podem provocar patologias nas edificações. Os fenómenos patológicos com maior expressão nas paredes são a fissuração e os defeitos associados à acção da humidade [34]. A presença de humidade nas paredes pode acelerar a degradação das características mecânicas dos materiais e originar o aparecimento de eflorescências ou criptoflorescências, bolor, vesículas e descolamento de reboco rígido, ver Figuras 10 e 11 [19]. Compete aos revestimentos dar um importante contributo na impermeabilização das paredes, mas deve ser a parede no seu todo a garantir as exigências de estanqueidade.



**Figura 10:** Destacamento de reboco rígido.

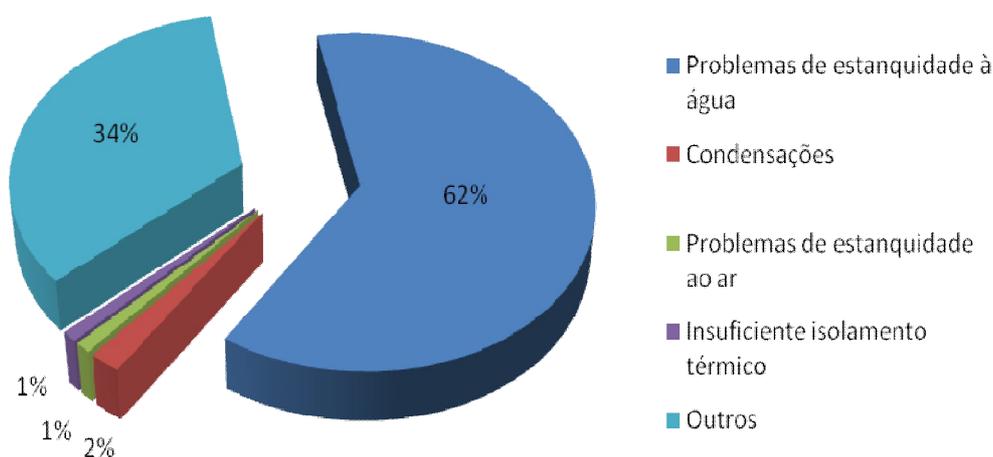
Fonte: [1]



**Figura 11:** Fissuração.

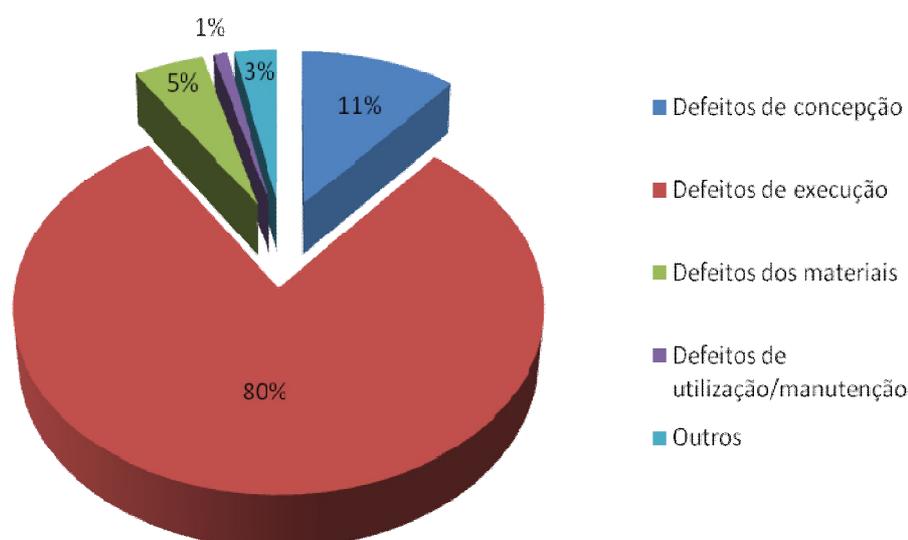
Fonte: [1]

Entre 1999 e 2001 foram analisados em França 39.000 casos de sinistros declarados às companhias seguradoras. A “Agence Qualité Construction” (AQC), organização responsável pela análise e implementação da qualidade na construção, criou um mecanismo de recolha e análise dos sinistros declarados às companhias seguradoras. Estes dados constituem um elemento fundamental na avaliação das patologias na construção. Através da análise dos dados recolhidos conclui-se que, as coberturas e as fachadas são as partes mais afectadas pelas patologias, atingindo no seu conjunto 54% dos sinistros declarados, pertencendo 62% dos casos a problemas de estanqueidade à água da envolvente dos edifícios, ver Gráfico 2 [30].



**Gráfico 2:** Patologias mais frequentes. Fonte: [30]

No Gráfico 3, apresentam-se as principais causas que estiveram na origem dos problemas analisados, sendo os defeitos de execução nitidamente predominantes, em 80% dos casos [30].



**Gráfico 3:** Principais causas das patologias. Fonte: [30]

A ausência de um sistema de seguros em Portugal equivalente ao Francês não permite realizar uma recolha de dados e efectuar uma análise estatística dos problemas das patologias na construção [30].

#### 2.5.3.2.1 Acção dos agentes que afectam a conservação das fachadas

Os principais agentes que afectam a conservação das fachadas são: a água; a alcalinidade do substrato; o sol; o ar e a poluição/contaminação [20].

##### ○ Água

A água pode provocar anomalias em fachadas actuando de diferentes maneiras, como composto químico que é, a água possui uma série de características físicas e químicas próprias. A água da chuva ao incidir directamente na fachada, e com a ajuda do vento actua muitas vezes sob pressão, se os rebocos não forem hidrofugados ou devidamente protegidos, esta será absorvida e penetrará no suporte. Por outro lado a água retida no

subsolo também pode causar sérios problemas, pois a água ascende por capilaridade, chegando à fachada através dos poros do material de construção, que se comporta como uma esponja. Esta água transporta substâncias que podem recristalizar, dando origem a fenómenos de eflorescências à superfície ou entre o reboco e o acabamento. Existem ainda outras formas que podem estar na origem do aparecimento de humidade nas construções, como por exemplo [31]:

- A presença de vapor de água no ambiente interior, algum certamente produzido pelo homem, pode condensar nas paredes dos edifícios ou mesmo dentro delas;
- A água existente nos materiais utilizados na construção ou adicionada na obtenção da argamassa e que, no caso de edifícios novos, permanecerá no interior dos elementos construtivos no mínimo três meses;
- Por infiltrações em coberturas e terraços devido a defeitos na execução e/ou na impermeabilização;
- A inadequada recolha e condução das águas pluviais;
- A presença de água no terreno devido a causas acidentais como roturas de condutas, esgotos e reservatórios.

Deve evitar-se a penetração de água nas paredes pois uma vez no interior da fachada a água pode causar vários problemas. As baixas temperaturas podem levar à formação de gelo e provocar fissuração devido ao aumento de volume associado, pode provocar eflorescências, normalmente de cor branca que com o tempo vão aumentando de volume. Os primeiros sinais visíveis de presença de humidade no interior das fachadas são as manchas de humidade e o salitre, essas manchas tendem a aumentar dando origem a empolamentos que destroem a tinta e levantam os rebocos [20].

○ **Alcalinidade do substrato**

As argamassas de cimento são altamente alcalinas. As tintas com ligantes sensíveis à alcalinidade quando em contacto com suportes de cimentos não curados degradam-se facilmente, dando origem a empolamentos, alteração da cor e destruição do filme de tinta. Este tipo de problemas acontece frequentemente quando se procede a reparações com argamassas de cimento e não se dá tempo suficiente de cura, antes da aplicação da tinta [20].

○ **Sol**

A acção contínua do sol sobre as fachadas potencia a degradação do ligante e dos pigmentos, podendo dar origem a que a tinta se solte do suporte ou que as superfícies fiquem pulverulentas. A acção dos raios ultra violetas altera a cor de alguns pigmentos e chega mesmo a destruí-los. Os ligantes 100% acrílicos, associados a pigmentos cuidadosamente seleccionados, proporcionam uma excelente resistência aos raios ultra violeta [20].

○ **Ar**

O ar não tem uma acção directa sobre as fachadas. No entanto, o vento pode originar fenómenos de erosão sobre as fachadas quando transporta partículas sólidas [20].

○ **Poluição/Contaminação**

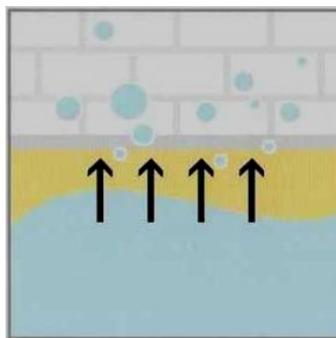
As pequenas partículas de sujidade suspensas no ar contaminado fixam-se nas fachadas, particularmente se estas estiverem húmidas ou amolecidas pela acção do sol. A poluição do ar com compostos sulfurosos e outros causa o aparecimento de chuva ácida, que penetrando no material de construção através dos poros dos revestimentos de fraca qualidade, ataca quimicamente os materiais [20].

A prevenção e reparação eficaz e duradoura dos problemas de fachadas devem ser feitas com um sistema de protecção e tratamento adequado a cada caso, tendo em conta todos os problemas enumerados.

### 2.5.3.2 Medidas preventivas

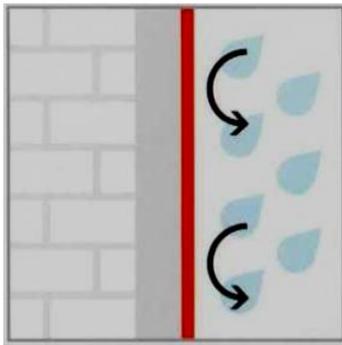
De forma a evitar as causas referidas anteriormente e para bom desempenho do sistema de protecção, é imprescindível uma adequada preparação do substrato e uma correcta aplicação dos diversos produtos de preparação e acabamento. Na escolha do tipo de reboco deve ter-se em conta o seu campo de aplicação e o tipo de suporte onde vai ser aplicado. As anomalias podem ser evitadas de diferentes formas, uma das maneiras consiste em proteger as superfícies revestidas aplicando produtos com características especiais, como por exemplo: hidrófugos de superfície, que impermeabilizam a superfície evitando o aparecimento de humidades, fungos e eflorescências.

Em termos gerais, o revestimento deve ser impermeável à água do exterior e permeável ao vapor de água para permitir a saída da humidade contida no elemento construtivo, isto porque, a água retida no substrato ascende por capilaridade, chegando ao exterior da fachada através dos poros do material de construção, como se observa na Figura 12. Então deve evitar-se que a água penetre na parede. Se tal acontecer, deve utilizar-se revestimentos que permitam a sua saída sob a forma de vapor, como se verifica nas Figuras 13 e 14 O revestimento deve ainda ser resistente à acção química de sais, ao ataque de CO<sub>2</sub> contido no ar contaminado, às chuvas ácidas, à alcalinidade do elemento construtivo e à acção dos raios ultra violetas, de modo a não haver degradação do ligante e dos pigmentos [20].

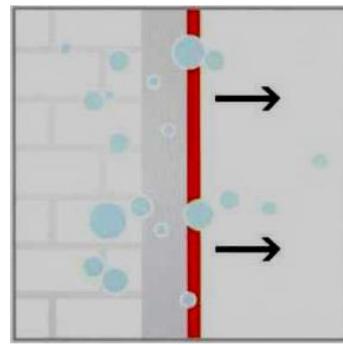


**Figura 12:** Ascensão por capilaridade

Fonte: [20]



**Figura 13:** Penetração da água na parede  
Fonte: [20]



**Figura 14:** Saída de água sob forma de vapor  
Fonte: [20]

De forma a garantir todas as características desejadas para um revestimento exterior, são indicadas algumas medidas fundamentais a tomar durante a fase de projecto, durante a execução dos revestimentos e durante a manutenção dos revestimentos [34].

- Fase de Projecto

Nesta fase não se pode referir simplesmente a adequação dos materiais e a geometria das paredes para a execução da obra. Compete aos projectistas definir as características dos materiais tendo em conta factores como, a localização da edificação, as acções ambientais a que estará sujeita e o tipo de uso a que se destinará. Devem também ter em atenção a compatibilização entre os materiais de revestimento e o suporte e, ainda, apresentar pormenores construtivos das soluções pretendidas [34].

- Fase de Execução

Uma das principais causas do aparecimento de patologias nas construções prende-se com a mão-de-obra pouco qualificada. Devido à actual indiferenciação da mão-de-obra e crescente diversidade de soluções construtivas e materiais, o conceito de bem construir tem perdido significado. Como forma de atenuar essa lacuna, são indicadas

algumas técnicas construtivas a ter em conta na execução dos revestimentos exteriores [34]. No que diz respeito à aplicação do reboco, os trabalhos só devem ser iniciados após a construção total das alvenarias, de preferência um mês após a sua conclusão. Os tempos de cura das variadas camadas devem ser respeitados e a secagem demasiado rápida evitada, aconselhando-se uma pulverização periódica [34]. Sempre que ocorram condições atmosféricas desfavoráveis: pluviosidade, temperaturas muito elevadas (superiores a 30 °C) ou muito baixas (inferiores a 5 °C), não é aconselhada a aplicação de revestimentos exteriores [20].

Em suma, é possível afirmar que a qualidade de execução proporciona uma protecção mais segura e duradoura e conseqüentemente, uma redução dos custos de manutenção ao longo do tempo [20].

- o Medidas de Manutenção

As acções de manutenção consistem em trabalhos de limpeza e pequenas reparações na construção com o objectivo de garantir a funcionalidade das obras durante o seu período de vida. Existe um conjunto de técnicas de limpeza de paredes, que se passa a enumerar: a utilização de água; a utilização de produtos químicos como, biocidas, ácidos, bases, pastas de argilas absorventes e detergentes; a utilização de abrasivos, ou seja, escovagem das superfícies com escovas nylon ou fibras vegetais, jactos de água ou água com abrasivos; e a limpeza a laser, esta técnica aplica-se apenas em edifícios históricos [34].

Na Tabela 8 são indicadas algumas das principais técnicas de limpeza, tendo em conta o tipo das manchas que se pretendem eliminar (humidade, fungos, *graffiti*, sujidade, entre outros). Contudo, deve-se sempre analisar a eficácia e adaptação do produto em laboratório.

Tabela 8: Métodos de limpeza adequados ao tipo de mancha

Manchas	Técnicas de limpeza
Humidade	Lavagem com detergentes ou produtos saponáceos.
Bolores, fungos e plantas	Aplicação de herbicidas, biocidas (amónia e quaternária)
	Lavagem com detergentes e produtos químicos básicos (hipoclorito de sódio a 5%).
<i>Graffiti</i>	Aplicação de produtos químicos: solventes orgânicos, ácidos, bases (hipoclorito); aplicação de produtos em pastas absorventes; escovagem com detergentes não agressivos dissolvidos em água quente ou fria, usando escovas moles.
Sujidade	Lavagem manual com água e esponja; lavagem com jactos de água ou água vaporizada; utilização de escovas de nylon ou fibras vegetais; aplicação de detergentes ou produtos saponáceos.
Corrosão	Limpeza com produtos químicos ou limpeza abrasiva
Carbonatação	Limpeza com produtos químicos (solução ácida a 5% de hidrocloreídrico), lavagem com água vaporizada (até 4 atm) e escovagem com escovas de <i>nylon</i> ou de fibras vegetais.
Eflorescências	Limpeza com produtos químicos ou escovagem com escovas de <i>nylon</i> .

Fonte: [34]

Não esquecendo a importância que os revestimentos apresentam no desempenho das alvenarias, assim como a importância das medidas a tomar nomeadamente durante a fase de projecto e execução, na Tabela 9 são apresentadas as acções de reabilitação mais apropriadas à eliminação das patologias mais frequentes em revestimentos exteriores, garantindo que a sua aplicação não resulte no reaparecimento das irregularidades existentes ou no seu agravamento. É de referir que na aplicação de duas ou mais técnicas de reabilitação para a mesma anomalia, deve ser realizado um estudo mais preciso e caso a caso. As condicionantes, arquitectónicas, económicas, grau de reversibilidade e a expectativa de eficácia influenciam a escolha das técnicas de reabilitação [34].

**Tabela 9:** Aplicabilidade das técnicas de reabilitação proposta face ao tipo de anomalia

Revestimento	Anomalias
Substituição parcial ou total de elementos e materiais afectados	Fissuração das paredes, empolamento, desagregação, criptoflorescências / eflorescências, perda de aderência, presença de manchas (de humidade, sujidade, corrosão, “fantasmas”) ou microorganismos
Aplicação de revestimento sobre o existente	Fissuração das paredes, desagregação, presença de manchas
Preenchimento / colmatação das fissuras	Fissuração das paredes
Aumento da espessura / inserção de juntas de movimento*	Lascagem ou esmagamento dos bordos dos elementos descontínuos, descolamento
Injecção de resinas de preenchimento do material de assentamento*	Descolamento pontual de elementos descontínuos aderentes
Colocação de revestimento armado aderente com isolamento térmico	Desajustes face a exigências de conforto térmico, fissuração do revestimento ou perda de aderência face a variações higrotérmicas, manchas de humidade, “fantasmas” ou espectros de junta
Substituição do material de preenchimento das juntas*	Pulverulência, fissuração no seio do material das juntas ou na sua ligação ao elemento, descolamento, presença de microorganismos, manchas (de humidade, sujidade, corrosão, <i>graffiti</i> , alteração de cor), eflorescências ou criptoflorescências
Aplicação do protector de superfícies	Manchas de humidade, <i>graffiti</i> , eflorescências, presenças de microorganismos (fungos ou bolores), sujidade e outras anomalias associadas à presença de água, a sua aplicação deve ser posterior à reparação das anomalias no substrato
Limpeza / lavagem das superfícies	Manchas de humidade, sujidade, <i>graffiti</i> , eflorescências, presenças de microorganismos (fungos ou bolores), corrosão e carbonatação

Legenda: \* revestimentos aderentes descontínuos

Fonte: [34]

## **CAPÍTULO III**

# **Argamassas de impermeabilização**

### **3.1 Objectivo**

### **3.2 Tipos de argamassas de impermeabilização**

### **3.3 Análise comparativa entre vários tipos de argamassas**

### 3.1 Objectivo

Revelando-se das mais diversas maneiras, a água pode tornar-se num verdadeiro incómodo quando, de forma quase insignificante, sobe pela estrutura dos pavimentos ou aparece nos tectos por causa de uma telha partida ou porque rebentou um cano do vizinho de cima. Também se torna causa de contrariedade quando o tanque, a piscina ou o aqueduto construídos para a transportar e armazenar não cumprem a sua função. A todas estas situações a resposta é impermeabilização.

Estando sujeitas a determinadas condições de pressão, as argamassas de impermeabilização têm como objectivo impedir a penetração de água, ou outro componente líquido no suporte [16].

Pode ser referida uma infinidade de locais e situações em que se recomenda a impermeabilização. Dos vários locais recomendados destacam-se os seguintes:

- Lajes expostas às águas da chuva ou às águas dos chuveiros (casas de banho);
- Paredes e pisos em contacto com o solo;
- Caixas de elevador;
- Zonas domésticas (canteiros);
- Locais onde se acumula e armazena água (reservatórios, tanques, piscinas, entre outros).

Para se obter numa obra ambientes secos, e assim evitar as possíveis patologias causadas pela humidade, como manchas, destacamento do reboco, apodrecimento de armários, entre outros, é muito importante efectuar a impermeabilização durante a sua construção. No entanto, posteriormente à execução da obra é também possível impermeabilizar, ainda que os custos possam atingir números mais elevados, que podem até inviabilizar o procedimento. Porém, durante a construção das edificações o processo de impermeabilização é eficaz e apresenta custos bastante razoáveis, menos de 3% do valor total da obra. Assim, é recomendável que a impermeabilização seja prevista em projecto e executada durante a obra.

Para tentar alcançar todos estes objectivos as argamassas pré-doseadas têm de ultrapassar testes rigorosos feitos em laboratório. Cada argamassa tem características específicas dependendo do tipo de uso a que estará destinada. Os aditivos adicionados aos diferentes tipos de argamassas são hoje em dia um elemento essencial para a construção civil, as suas inúmeras aplicações fazem com que os tornem actualmente muito importantes na concepção de uma obra. Ainda assim, não se recomenda o uso de adjuvantes ou aditivos sem a realização de ensaios prévios, sobre a própria argamassa, que possam fundamentar a sua adequabilidade.

### **3.2 Tipos de argamassas de impermeabilização**

A construção proporciona uma enorme quantidade de condições e situações onde as argamassas podem ser empregues, cada uma dessas situações tem propriedades individuais sendo por isso necessária a aplicação de uma argamassa específica. Para as diversas situações da construção civil existe também um mercado diverso de argamassas, sendo estas por vezes constituídas por aditivos e adjuvantes, além de agregados, ligantes e naturalmente água.

Até à década de 50 do século XX, o cimento era enviado para a obra separado dos agregados, sendo aí feita a respectiva mistura obtendo-se assim a argamassa, como referido no Capítulo II. No entanto, este método não cumpria as exigências pretendias e a rapidez de execução não era a mais desejada. A partir da década 50 e 60 surgiu assim uma nova indústria liga à construção, a mistura dos componentes das argamassas na obra foi substituída por argamassas industriais, ou seja, argamassas obtidas em fábrica [6].

Na década de 60, inicia-se no centro da Europa, a utilização de argamassas preparadas em centrais, transportadas em camiões cisternas para obra. Estas argamassas são denominadas argamassas retardadas ou estabilizadas. Todavia, o seu mercado tem vindo a ser substituído gradualmente pelo das argamassas secas, as quais permitiram

um novo acréscimo qualitativo e uma especialização que as argamassas estabilizadas não conseguem oferecer [6].

As argamassas secas, assim como as argamassas estabilizadas resultam da mistura de um ou mais ligantes orgânicos ou inorgânicos, cargas, agregados, adjuvantes e/ou aditivos doseados e misturados em centrais especializadas, no entanto apresentam-se “em pó” [44]. Uma vez produzidas, as argamassas secas são seguidamente, transportadas para a obra em camiões cisternas que abastecem o silo (ver Figura 15) ali existente. Na obra é apenas necessário adicionar água à mistura para a obtenção da argamassa sendo a amassadura feita em betoneiras normais ou em máquinas de amassadura e projecção. Os camiões porta silos são os responsáveis pelo transporte dos silos para as obras bem como da sua retirada [6].



**Figura 15:** Silo para o armazenamento de “argamassa” em obra. Fonte: [39]

Assim como as argamassas em geral, também as argamassas de impermeabilização podem ser obtidas de forma tradicional ou em fábrica.

O processo de fabrico das argamassas pré-doseadas de impermeabilização é semelhante ao das restantes argamassas pré-doseadas. São argamassas secas, sendo apenas necessário adicionar água em obra para a obtenção da mesma [44]. O facto de

se tratar de produtos pré-doseados permite que estejam sujeitos a um controlo interno de qualidade que garanta a respectiva constância de qualidade e manutenção das características. O processo de obtenção da argamassa seca em fábrica é bastante rigoroso, não estando as percentagens das dosagens utilizadas disponível ao público. Cada fabricante pode criar a sua própria argamassa de impermeabilização, logo que cumpra as normas em vigor.

Quando as argamassas de impermeabilização são obtidas de forma tradicional a mistura de todos os constituintes da argamassa (água, agregados, ligantes, adjuvantes/aditivos) é feito em obra. Este processo de obtenção de argamassa não confere total garantia de qualidade, embora actualmente as empresas fabricantes de argamassas disponibilizem produtos e informação necessária para que qualquer consumidor possa obter uma argamassa de impermeabilização em obra, de forma a garantir todos os requisitos exigidos. Este processo implica um elevado cuidado na sua obtenção pois basta adicionar quantidades em excesso/defeito de qualquer um dos seus constituintes, para que a qualidade da argamassa não seja a pretendida.

### **3.3 Análise comparativa entre vários tipos de argamassas**

Para a execução das mais variadas obras e de modo a obter as melhores construções, presentemente o mercado disponibiliza uma enorme variedade de soluções construtivas, assim como, uma enorme variedade de argamassas de construção. Actualmente o consumidor tem ao dispor mais de 100 tipos de argamassas prontas a aplicar e todas elas com os requisitos mínimos necessários para a realização e obtenção de um bom trabalho.

Seguidamente são apresentados e comparados (Tabela 10) cinco tipos de argamassas existentes no mercado, três com características impermeabilizantes (Weber.dry KG; Sika MiniPack Impermeabilização e SikaTop Seal 107), e outras duas sem características impermeabilizantes (Sika Level e Sika Minipack Reparação). Esta comparação é feita com o objectivo de verificar as diferenças existentes entre as várias

argamassas, com campos de aplicação diferentes e também com campos de aplicação semelhantes.

A argamassa Weber.dry Kg foi utilizada para a realização de ensaios laboratoriais. Os resultados obtidos foram comparados com os ensaios realizados com argamassas tradicionais. No Capítulo IV são apresentadas as características técnicas da referida argamassa.

Tabela 10: Comparação entre os quatro tipos de argamassas

Argamassas / Características	Com propriedades impermeabilizantes			Sem propriedades impermeabilizantes	
	Weber.dry KG	SikaTop Seal 107	Sika Minipack Impermeabilização	Sika Minipack Reparação	Sika Level
<b>Descrição do produto</b>	- Argamassa de impermeabilização	- Micro argamassa impermeabilizante - Revestimento semi-flexível	- Argamassa de impermeabilização por pincelagem	- Argamassa de reparação	- Argamassa de nivelamento
<b>Base Química</b>	- Cimento, areias siliciosas e calcárias, sais activos e aditivos	- Base de cimentos e de polímeros modificados em dois componentes (líquido e pó)	-	- Mistura de cimentos, agregados e resinas sintéticas	- Cimento Portland com polímeros
<b>Campos de aplicação</b>	- Pavimentos; paredes e tectos - Caves; caixas de elevador; parques subterrâneos; túneis - Depósitos; piscinas; tanques; fontes	- Estruturas de betão ou argamassas - Alvenarias de tijolo, no interior ou exterior - Caves ou paredes enterradas - Depósitos de água potável	- Fundações; - Paredes meio enterradas; - Caves; em paredes de pedra ou blocos de cimento;	- Reparação de betão - Regularização de betão - Aplicação em superfícies verticais e horizontais	- Nivelamento de áreas (grandes ou pequenas) - Alisamento de betão e de betonilhas
<b>Propriedades / vantagens</b>	- Mantém a potabilidade da água - Resiste a pressão positiva e negativa	- Fácil de misturar e aplicar - Impermeável à água, mas permeável ao vapor de água - Elevada resistência ao gelo e sais de degelo - Não ataca as armaduras nem os elementos metálicos - Boa resistência ao ozono - Excelente aderência à base	- Impermeável - Excelente aderência à base - Rápido endurecimento - Aplica-se directamente sobre a alvenaria, betão, pedra, blocos de cimento	- Fácil de misturar e aplicar - Boa aderência à base - Altas resistências mecânicas - Tempo de presa igual ao de uma argamassa normal de cimento - Bom acabamento - Boa trabalhabilidade	- Aplicação rápida - Aplicação normal ou à bomba - Boa aderência e compacidade - Endurecimento acelerado e boa secagem

<b>Propriedades / Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não utilizar em suportes fissurados ou em risco de fissuração</li> <li>- Não utilizar em meio ácido, com pH inferior a 5</li> <li>- Deve reforçar-se com utilização de malha de fibra de vidro anti-alkalina (10x10 mm) incorporada entre duas camadas de reboco</li> <li>- Não aplicar sobre suporte encharcados de água</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não funciona como revestimento decorativo</li> <li>- Não pode haver contacto com chuva, salpicos e geada durante as primeiras horas de aplicação</li> <li>- Evitar aplicar o produto em zonas de vento, chuva ou incidência solar muito forte</li> <li>- Para evitar a dessecação demasiado rápida deve-se adoptar as medidas de cura apropriada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não aplicar em temperaturas inferiores a 5°C</li> <li>- Não pode haver contacto com chuva, salpicos e geada durante as primeiras horas de aplicação</li> <li>- Evitar aplicar o produto em zonas de vento, chuva ou incidência solar muito forte</li> <li>- Para evitar a dessecação demasiado rápida deve-se adoptar as medidas de cura apropriada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não pode haver contacto com chuva, salpicos e geada durante as primeiras horas de aplicação</li> <li>- Evitar aplicar o produto em zonas de vento, chuva ou incidência solar muito forte</li> <li>- Para evitar a dessecação demasiado rápida deve-se adoptar as medidas de cura apropriada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A porosidade da betonilha ou betão da base tem uma influência decisiva no aspecto e na aderência</li> <li>- A mistura tem de ser feita com um berbequim munido de haste misturadora ou para grandes quantidades, um misturador de eixo vertical e com lâmina de corte</li> <li>- Não usar esta argamassa em pavimentos exteriores</li> <li>- Não aplicar em bases com problemas de humidade ascendente</li> </ul>
<b>Espessura da camada</b>	- Mínimo: 10 mm	- Mínimo: 1 mm - Máximo: 2 mm	-	- Mínimo: 5 mm - Máximo: 20 mm	- Mínimo: 1 a 10 mm - Máximo: 1 a 30 mm (desde que se adicione areia)
<b>Resistência à compressão</b>	- Aprox. 20 MPa (200 Kg/cm <sup>2</sup> )	- Aos 3 dias: aprox. 20 N/mm <sup>2</sup> - Aos 28 dias: aprox. 35 N/mm <sup>2</sup>	-	- Aos 28 dias: aprox. 40 N/mm <sup>2</sup>	- As 24 horas: aprox. 18 N/mm <sup>2</sup> - Aos 7 dias: aprox. 28 N/mm <sup>2</sup> - Aos 28 dias: aprox. 33 N/mm <sup>2</sup>
<b>Modos de aplicação</b>	- Aplicar pelo menos 10 mm, entre 5 a 10 mm por camada	- Aplicar pelo menos duas camadas, em zonas críticas aplicar três	- Aplicar duas ou três camadas cruzadas	- A base deve apresentar alguma rugosidade - Não exceder 2cm de espessura por camada	- 1,65 Kg/m <sup>2</sup> de Sika Level por cada milímetro de espessura aplicado

Através da análise da Tabela 10 pode concluir-se que cada tipo de argamassa tem características próprias, sendo por isso o campo de aplicação individual.

Tanto a argamassa Weber.dry GK como a SikaTop Seal 107 são argamassas destinadas especialmente para impermeabilizar. Garantem a impermeabilização de suportes submetidos a pressão ou contra-pressão de água em: pavimentos, paredes, tectos, trabalhos subterrâneos – caves, caixas de elevador, parques subterrâneos, túneis – depósitos de água, piscinas, tanques – entre outros. A argamassa Sika Minipack Impermeabilização é igualmente destinada para impermeabilizar, no entanto as suas características não lhe permitem garantir uma capacidade de impermeabilização igual ao das argamassas anteriormente referidas. Este tipo de argamassa não garante a impermeabilização em caves que estejam permanentemente abaixo do nível freático ou nos casos em que exista pressão considerável de água. A aplicação das três argamassas deve ser feito no mínimo em duas camadas, sendo necessário reforçar com malha de fibra de vidro anti-alkalina (10x10 mm), incorporada entre duas camadas de reboco, na argamassa Weber.dry GK.

As argamassas Sika Minipack Reparação e Sika Level não têm propriedades impermeabilizantes. A argamassa Sika Minipack reparação é constituída à base de ligantes de cimentos especiais e de agregados seleccionados, melhorada com adição de sílica de fumo, de fibras sintéticas e de adjuvantes. É destinada para a reparação e regularização de betão. A argamassa Sika Level é constituída por cimento Portland com polímeros, esta argamassa é destinada para o nivelamento de áreas no interior dos edifícios, independentemente das dimensões das mesmas. Ambas as argamassas são de aplicação rápida. No entanto, a mistura da argamassa Sika Level deve ser feita com um berbequim munido de haste misturadora ou para grandes quantidades, com um misturador de eixo vertical e com lâmina de corte.

# CAPÍTULO IV

## Rebocos de impermeabilização

### 4.1 Introdução

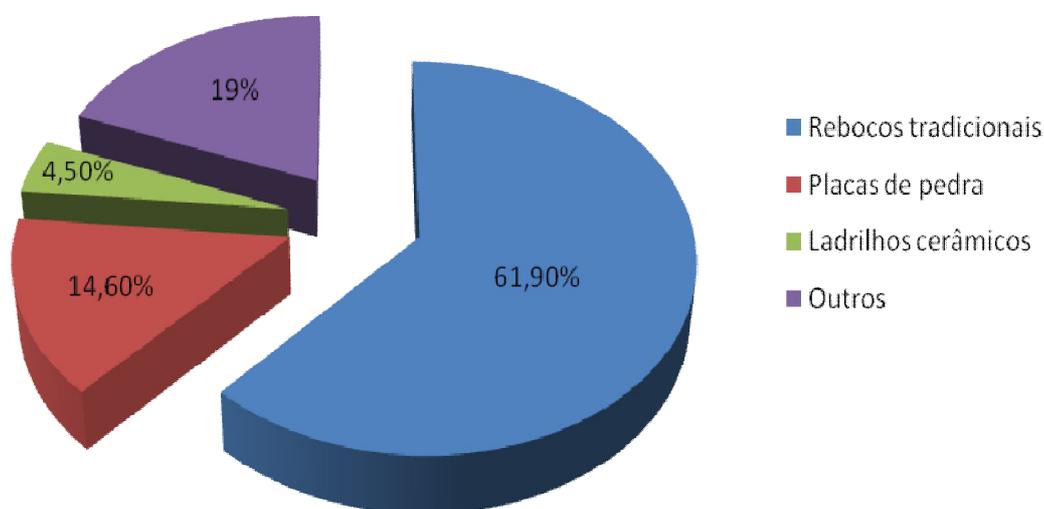
### 4.2 Principais causas de degradação

### 4.3 Impermeabilização

## 4.1 Introdução

O reboco em paredes de alvenaria de tijolo tem sido uma solução construtiva muito utilizada em Portugal. Dados estatísticos permitem concluir que o custo dos trabalhos em alvenarias, incluindo revestimentos, representa cerca de 12 a 17% do custo global dos edifícios e que, segundo o Censos 2001, o uso de reboco representa uma percentagem significativa, cerca de 62%, quando comparado com os restantes tipos de revestimento de aplicação corrente em paredes de edifícios (betão à vista, revestimentos de pedra e ladrilhos cerâmicos) [33,34].

Os Censos de 2001 revelam que os principais revestimentos exteriores de paredes são o reboco tradicional (61,9%), as placas de pedra (14,6%) e os ladrilhos cerâmicos (4,5%) [33,34]. Para uma melhor percepção foi elaborado o Gráfico 4.



**Gráfico 4:** Principais revestimentos exteriores de paredes

## 4.2 Principais causas de degradação

Os rebocos exteriores desempenham um papel importante na protecção e na estanqueidade das paredes. Para além destas funções, os rebocos são utilizados desde tempos remotos como elementos decorativos de valor estético relevante.

Existe uma grande variedade de factores que provocam a degradação dos rebocos exteriores. A forte exposição a condições ambientais adversas e as inúmeras agressões do meio são alguns desses factores [42].

As principais causas de degradação dos rebocos podem ser organizadas de seguinte forma [42]:

- Acção da água;
- Agentes biológicos;
- Acções mecânicas;
- Acção do homem.

### Acção da água

Manifestando-se de diversas formas (humidade, gelo, entre outros), a água é a principal causa de degradação dos rebocos exteriores tradicionais.

O excesso de humidade nos revestimentos é responsável por anomalias estéticas, nomeadamente o surgimento de manchas e a formação de gotas à superfície. A sua presença nos poros da estrutura do revestimento pode resultar em destruições, se o material estiver submetido a ciclos de molhagem/secagem ou gelo/degelo. No entanto, a sua acção assume maior relevância quando dissolve e transporta substâncias, como alguns poluentes atmosféricos, sais solúveis e higroscópicos, que vão intensificar o efeito destrutivo da água [42].

A transição da água do estado líquido ao estado sólido é acompanhada por um aumento do volume específico de cerca de 9%, este aumento provoca pressões importantes quando este fenómeno ocorre no interior dos poros da estrutura dos rebocos. As pressões exercidas sobre as paredes dos poros podem provocar vários tipos de

anomalias, como por exemplo, fendas ou mesmo destacamentos do reboco. O comportamento dos rebocos face aos ciclos de gelo/degelo depende da resistência mecânica do reboco, do coeficiente de saturação, da porosidade e da dimensão dos poros [42].

### **Agentes biológicos**

São muitas as comunidades de seres vivos que se desenvolvem nas camadas protectoras das fachadas, ou seja, nos rebocos. Os seres vivos mais simples, como as algas, as bactérias, os líquenes, os fungos, entre outros, são responsáveis por deteriorações químicas e/ou mecânicas. No entanto, há ainda que ter em conta as degradações causadas por algumas plantas superiores, nomeadamente através do desenvolvimento das suas raízes e as degradações provocadas pelos animais (essencialmente os pássaros), através da acumulação das suas fezes. A actividade biológica nas superfícies dos rebocos resulta em manchas coloridas, incrustações e na presença de órgãos vegetativos e reprodutivos que irão deixar a estrutura dos rebocos enfraquecida e deteriorada [42].

### **Ações mecânicas**

São várias as acções mecânicas que podem originar anomalias nas estruturas, por exemplo, retracção, vento, temperatura, entre outros. A retracção é um fenómeno muito frequente quer em rebocos tradicionais e não tradicionais. Durante a cura do reboco pode originar-se fendilhação generalizada formando um padrão de malha. A manifestação de fendilhação devido a tensões excessivas que se estabelecem no reboco durante a secagem ocorre geralmente associada a um ou mais factores, são eles [42]:

- Utilização de argamassas com composições incorrectas (doses excessivas de ligantes; excesso de água na mistura);
- Utilização de argamassas de reparação incompatíveis com as existentes e com a própria base (utilização de cimento);
- Não humedificação da base antes da aplicação da primeira camada de reboco;

- Aplicação incorrecta das várias camadas que constituem o reboco (camadas demasiado espessas; não diferenciação da dose de ligante nas várias camadas; tempos de secagem das várias camadas insuficientes);
- Execução do reboco em condições ambientais adversas sem as devidas protecções (dias de muito vento ou sol, que promovem a secagem acelerada do reboco; chuva).

### **Acção do homem**

Pode-se dividir a acção humana em rebocos em dois grupos: as acções directas, como a tecnologia de produção e aplicação dos rebocos e a manutenção adequada e atempada dos mesmos; e as acções indirectas, como a poluição atmosférica e o uso.

Desde o início que o homem é o responsável pelo desempenho do reboco, através da escolha, da mistura dos constituintes e da correcta aplicação (ou não) dos rebocos. É desta forma que se pode caracterizar a intervenção humana de tecnológica, pois traduz a adequabilidade da técnica de produção e aplicação do reboco, o que é um factor essencial na sua qualidade final e desempenho futuro. Contudo, o ponto onde possivelmente a acção humana tem sido mais agressiva é durante a fase de manutenção dos rebocos, quer pela não existência de manutenção mas também pela execução de muitas intervenções altamente prejudiciais para os rebocos e paredes, essencialmente através da utilização de argamassa muito fortes (com elevadas dosagens de cimento) [42].

A poluição atmosférica resulta das actividades industriais e comércio, sendo um problema que só pode ser resolvido adequadamente a nível internacional. A maior parcela da poluição atmosférica é produzida através da queima de combustíveis fósseis em fornos industriais e domésticos, turbinas e motores de combustão, nomeadamente nos automóveis [42].

Finalmente, existe ainda o vandalismo, nomeadamente graffitis que, no caso dos rebocos, não é tão relevante pois a sua reparação não é tão complexa quando comparada

com a reparação em alvenarias de pedra, especialmente em rochas muito alteradas e porosas [42].

Concluindo, uma protecção adequada dos rebocos, essencialmente nos primeiros tempos de aplicação, pode contribuir significativamente para o aumento do seu período de vida útil, retardando a acção de várias das causas de deterioração anteriormente mencionadas. Simultaneamente, a implementação de um programa de manutenção adequado, nomeadamente em função do grau de exposição do reboco e das principais causas de degradação que o poderão afectar, pode evitar a degradação do suporte e a necessidade de intervenções profundas [42].

### 4.3 Impermeabilização

Como se tem verificado ao longo deste estudo, nos dias que correm uma das principais falhas na construção é a falta de impermeabilização nos materiais de construção. A sua ausência provoca problemas estruturais trazendo problemas não só para as edificações bem como para os proprietários dos imóveis. No entanto, apesar da enorme importância para as edificações, a maioria das pessoas desconhece os benefícios da impermeabilização [43].

Impermeabilizar é uma forma de proteger os materiais ou as diferentes áreas de um imóvel de uma edificação, da acção das águas provenientes das chuvas, de lavagem, de banhos ou mesmo da passagem indesejável de líquidos e vapores, tentando dessa forma manter as condições normais da construção [43].

A impermeabilização das edificações é muito importante, pois o uso inadequado ou mesmo a falta dela numa edificação pode por em causa a durabilidade desta, podendo causar prejuízos financeiros e até mesmo problemas para a saúde. A água proveniente de diferentes locais em diferentes formas (líquida, granizo, entre outros) torna o ambiente insalubre, afectando assim a vida útil dos materiais [43].

Para qualquer tipo de obras o projecto de impermeabilização deve ser individual, pois cada situação tem características específicas. Deve também ter um projecto próprio que estabeleça os produtos e a forma de execução das técnicas de impermeabilização [43].

De um modo geral, para se obter uma boa impermeabilização e garantir uma estanqueidade total, deve-se proceder da seguinte forma [43]:

- Elaboração do projecto de impermeabilização;
  - Memória descritiva;
  - Plantas com detalhes específicos;
  - Especificação e localização dos materiais a serem utilizados;
- Elaboração do programa de qualidade da construção;
- Utilização de mão-de-obra qualificada;
- Estimativa de custos dos serviços descritos.
- Fiscalização.

#### 4.3.1 Rebocos e monomassas

##### *Rebocos*

Actualmente as argamassas destinadas a reboco, assim como qualquer outro tipo de argamassa, podem ser obtidas de forma tradicional ou em fábrica.

Mesmo nos rebocos tradicionais preparados e doseados em obra, o uso de adjuvantes e aditivos podem melhorar de forma significativa algumas características dos revestimentos. No entanto, a experiência e o consequente domínio do seu uso no nosso país são relativamente baixos, se exceptuarmos os hidrófugos, com os quais se procura

muitas vezes sem sucesso, resolver os frequentes problemas de infiltrações de água do exterior.

Em argamassas de impermeabilização os adjuvantes que apresentam as características exigidas para cumprir o seu objectivo, impermeabilizar, são particularmente os hidrófugos/impermeabilizantes. No entanto, podem ser adicionados à mistura alguns aditivos especiais que ajudem na trabalhabilidade da argamassa.

Os hidrófugos, ou impermeabilizantes, são constituídos por partículas insolúveis muito finas (cinzas volantes, escórias, entre outros) que vão ocupar o sistema poroso. Além de terem a capacidade de repelir a água das superfícies expostas, destinam-se também a fechar os capilares e a impedir, pelo menos parcialmente, a penetração de água ou a sua circulação na argamassa, por redução da tensão capilar no sistema poroso. Por restringirem a quantidade de água no sistema, reduzem o potencial de eflorescência e a degradação devida ao gelo-degelo. Quando existe fendilhamento não têm porém qualquer efeito. Podem também limitar a aderência entre camadas e ao próprio suporte. Os aditivos impermeabilizantes não deve exceder os 2% da massa do ligante.

Os aditivos hidrófugos proporcionam um melhoramento da trabalhabilidade da argamassa no estado fresco, permitindo uma redução na relação água/cimento. Os aditivos aplicados numa argamassa no estado endurecido, permitem a confecção de argamassas pouco permeáveis e de maior durabilidade porque impedem a penetração de agentes agressivos.

Existem diferentes métodos de adição de hidrófugos às argamassas tradicionais, dependendo do tipo e local de uso a que este de destinará [29]. Por exemplo, a empresa Sika, para argamassas destinadas a rebocos de fachadas, a reboco estanque e a betonilha estanque, propõe a aplicação à mistura da argamassa, de um hidrófugo em pó (Super Sikalite) ou de um hidrófugo líquido (SikaCim Hidrófugo). Estes dois tipos de hidrófugos foram utilizados para a realização dos ensaios, Capítulo V [29]. Seguidamente são apresentadas as características técnicas destes dois tipos de hidrófugos. As características são disponibilizadas ao consumidor pela empresa Sika.

### ➤ Super Sikalite

**Descrição do produto:** Hidrófugo em pó para a impermeabilização de argamassas correntes e para a produção de argamassa e betões projectados.

#### *Utilizações*

Adjuvante impermeabilizante para rebocos, betonilhas e argamassa de assentamento em:

- Piscinas, depósitos, reservatórios e canais.
- Fachadas, paredes, coberturas e terraços.

Adjuvante impermeabilizante usado no fabrico de argamassas secas. Usado para produzir argamassas e betões impermeáveis para projecção por via seca em:

- Túneis e galerias.
- Estabilização de taludes.
- Muros de suporte.
- Piscinas, depósitos, canais.
- Reparação de betão, etc.

#### *Características / Vantagens*

Super Sikalite reage com o cimento durante o processo de hidratação dando origem a substâncias minerais que interrompem a rede capilar, proporcionando desta forma excelente impermeabilização ao betão ou à argamassa.

Confere ainda:

- Melhoria na trabalhabilidade sem aumentar a água de amassadura.
- Facilidade de projecção em tectos.
- Redução no ricochete.

- Diminuição na retracção, graças à redução de água de amassadura.

### *Certificados / Boletins de ensaio*

Conforme as especificações da norma UNE-EN 934-2.

### *Dados do produto*

**Aspecto / Cor:** Pó esbranquiçado.

**Fornecimento:** 12 sacos de 1 kg por caixa (12 x 1).

**Armazenagem e conservação:** Armazenar o produto nas embalagens de origem não encetadas e não deterioradas. Em local seco, ao abrigo da geada e a temperaturas entre +5 °C e +30 °C. Conserva-se 2 anos a partir da data de fabrico.

### *Dados técnicos*

**Base química:** Substâncias inorgânicas com aditivos hidrófugos.

### *Pormenores de aplicação*

#### **Consumo / Dosagem:**

Aprox. 2% sobre o peso do cimento.

	Consumo aprox. de:
Argamassas correntes	100 g/m <sup>2</sup> e cm de espessura
Argamassa ou betão projectado	120 a 150 g/m <sup>2</sup> e cm de espessura (incluindo o ricochete)

**Preparação da base:** A base deve estar limpa, sã, isenta de partículas em desagregação, leitadas superficiais, isenta de gorduras, óleos e pinturas.

- Bases de betão: Devem apresentar alguma rugosidade, usando preferencialmente meios mecânicos, de forma a favorecer a aderência da argamassa ao substrato.

Ou então, para bases muito lisas sugere-se a aplicação de uma calda de cimento com Sikalatex.

- Bases absorventes: Devem ser humedecidas previamente até à saturação, mas sem encharcar, começando a aplicar o Super Sikalite quando as superfícies readquirem um aspecto mate.

### *Instruções de aplicação*

**Mistura:** Adicionar ao mesmo tempo que o cimento, na betoneira, juntando de seguida a areia e a água de amassadura. A areia será de preferência, seca, limpa, com uma dimensão máxima do agregado de 2,5 mm. A relação a usar em volume do cimento : areia será de 1 : 2 ou no máximo de 1 : 3.

### *Aplicação*

- **Na impermeabilização de rebocos:** Aplicar no mínimo 2 camadas da argamassa com o Super Sikalite com uma espessura total de 2 a 3 cm. A camada de acabamento deve ser atalochada e não alisada à colher, para evitar a microfissuração superficial.
- **Na impermeabilização de betonilhas:** Execução de betonilhas impermeáveis, obtidas pela incorporação de Super Sikalite na argamassa. De referir que, as trocas gasosas de dentro para fora mantêm-se, permitindo que a parede “respire” evitando assim alguns problemas associados às condensações dentro dos edifícios. A espessura total da argamassa a aplicar será de 2 a 2,5 cm em paredes e de 4 a 6 cm em pavimentos.
- **Betão ou argamassa projectada:** Na projecção por via seca a mistura de betão ou argamassa seca é transportada até à ponteira da máquina e só aí entra em contacto com a água. A quantidade de Super Sikalite, previamente estudada, adiciona-se à mistura seca, mistura essa que deve estar homogénea.

### ***Importante***

O betão ou argamassa projectada com Super Sikalite, só deve ser usado se não houver infiltrações de água durante a execução dos trabalhos. Caso existam infiltrações de água eles podem ser estancadas usando uma calda de cimento com Sika 2 Extra Rapide ou com Sika 4a Rapide, ou mesmo usando drenos. Deve-se ter especial cuidado quando se utilizam cimentos lentos ou se trabalha a baixas temperaturas porque existe um atraso na presa e no endurecimento do betão e da argamassa.

### ***Nota***

Todos os dados técnicos referidos nesta Ficha de Produto são baseados em ensaios laboratoriais. Ensaios realizados noutras condições para determinação das mesmas características podem dar resultados diferentes devido a circunstâncias que estão fora do nosso controlo.

### **➤ SikaCim Hidrófugo**

**Descrição do produto:** SikaCim Hidrófugo é um adjuvante líquido, de cor branca, isento de cloretos, pronto a aplicar para impermeabilizar argamassa e betão.

### ***Utilizações***

Hidrófugo usado para impermeabilizar argamassa e betão para aplicar em:

- Rebocos de piscinas, lagos, depósitos.
- Rebocos de fachadas, paredes ou coberturas.
- Revestimento de tanques

### ***Características / Vantagens***

- Torna as argamassas e o betão impermeáveis, ao cristalizar com a cal livre do cimento, interrompendo a rede capilar.

- Não altera a presa do cimento, nem as resistências mecânicas.
- É compatível com a utilização conjunta de outros adjuvantes SikaCim. Não misturar previamente, uns com os outros.
- Isento de cloretos - não ataca as armaduras.
- Aplicação fácil.
- É compatível com todos os tipos de cimento, incluindo misturas de cimento com cal hidráulica ou outra, com exceção de cimento aluminoso.

### *Dados do produto*

**Aspecto / Cor:** Líquido branco.

**Fornecimento:** Caixa com 12 bolsas de 0,5 litro (12 x 0,5).

**Armazenagem e conservação:** O produto deve estar armazenado nas embalagens originais não encetadas. **Atenção:** SikaCim Hidrófugo fica inutilizado se a embalagem for exposta à congelação. Conserva-se 1 ano a partir da data de fabrico.

### *Dados técnicos*

**Base química:** Substâncias hidrófugas.

**Massa volúmica (23 ± 2 °C):** Aprox. 1,02 kg/dm<sup>3</sup>.

**Teor em iões cloreto:** < 1 g/dm.

**Temperatura de cristalização:** Aprox. 0 °C.

### *Informação sobre o sistema*

**Consumo / Dosagem:** Uma bolsa de 0,5 litro por saco de cimento. Adicionar SikaCim Hidrófugo à água de amassadura.

**Preparação da base:** A base deve estar limpa, sã, isenta de partículas em desagregação, leitadas superficiais, isenta de gorduras, óleos e pinturas.

**Bases absorventes:** Devem ser humedecidas previamente até à saturação, mas sem encharcar, começando a aplicar a argamassa com SikaCim Hidrófugo quando as superfícies readquirem um aspecto mate.

### *Instruções de aplicação*

**Mistura:** Adicionar a uma parte da água de amassadura. Colocar o cimento na betoneira, juntando de seguida a areia e a água de amassadura com o SikaCim Hidrófugo. Ajustar a consistência com a restante água de amassadura. A areia será de preferência, seca, limpa, com uma dimensão máxima do agregado de 2,5 mm. A relação a usar em volume do cimento: areia será de 1: 2 ou no máximo de 1: 3.

### *Aplicação*

**Na impermeabilização de rebocos:** Aplicar no mínimo 2 camadas da argamassa com o SikaCim Hidrófugo com uma espessura total de 2 a 3 cm. A camada de acabamento deve ser atalochada e não alisada à colher, para evitar a microfissuração superficial.

**Na impermeabilização de betonilhas:** Execução de betonilhas impermeáveis, obtidas pela incorporação de SikaCim Hidrófugo. De referir que, as trocas gasosas de dentro para fora mantêm-se, permitindo que a parede “respire” evitando assim alguns problemas associados às condensações dentro dos edifícios. A espessura total da argamassa a aplicar será de 2 a 2,5 cm em paredes e de 4 a 6 cm em pavimentos.

**Importante:** Caso existam infiltrações de água a quando da aplicação de argamassa com SikaCim Hidrófugo elas podem ser estancadas usando uma calda de cimento com Sika2 Extra Rapide ou com Sika 4a Rapide evitando assim que a argamassa com o SikaCim Hidrófugo seja lavada. Deve-se ter especial cuidado quando se utilizam cimentos lentos ou se trabalha a baixas temperaturas porque existe um atraso na presa e no endurecimento da argamassa.

**Nota:** Todos os dados técnicos referidos nesta Ficha de Produto são baseados em ensaios laboratoriais. Ensaio realizados noutras condições para determinação das mesmas características podem dar resultados diferentes devido a circunstâncias que estão fora do nosso controlo.

### *Risco e segurança*

**Medidas de segurança:** Em caso de contacto com a pele, lavar imediatamente. Para mais informações consultar a Ficha de Dados de Segurança do produto e o respectivo rótulo [29].

O reboco obtido em fábrica (pré-doseado) é uma argamassa seca do grupo das argamassas de revestimento. Trata-se de uma argamassa de construção industrial, em que os seus componentes são doseados e misturados em fábrica de forma perfeitamente controlada, de modo a garantir que a sua constituição tenha os componentes e proporções adequadas. É formada a partir de ligantes hidráulicos, agregados siliciosos, adjuvantes e aditivos. Os aditivos são adicionados à mistura, normalmente, em pequenas quantidades mas com efeito muito significativo, permitindo obter um reboco com características controladas (permeabilidade ao vapor de água, impermeabilização, aderência, resistências mecânicas, trabalhabilidade e fendilhação). De uma forma geral, a constituição deste tipo de reboco é semelhante aos tradicionais, a principal diferença é que a dosagem é feita segundo uma formulação estudada. Todos os constituintes que caracterizam esta argamassa são previamente seleccionados, passando por processos rigorosos de controlo de qualidade, sendo a mistura corrigida com adjuvantes e aditivos. As argamassas pré-doseadas podem ser aplicadas manualmente ou por projecção, são transportadas para a obra em saco ou granel para alimentação do silo. Em obra, é apenas necessário adicionar água para a obtenção da argamassa [11,19,24].

Vantagens do reboco pré-doseado face aos rebocos tradicionais [11]:

- Melhor controlo de qualidade da argamassa: as argamassas pré-doseadas em fábricas passam por um processo rigoroso de controlo de qualidade de acordo com as normas europeias. Os rebocos doseados em obra (tradicionais) não têm qualquer tipo de controlo. Por exemplo, os agregados utilizados em argamassas doseadas em obra, geralmente, não são lavados nem sujeitos a tratamentos, são armazenados ao ar livre sem cuidados para evitar a sua molhagem ou secagem exagerada, o que dificulta o controlo de água de amassadura.

- Redução do espaço nos estaleiros de obras: a argamassa é mantida seca em paletes devidamente plastificadas.
- Melhoria das condições de limpeza no estaleiro.
- Maior produtividade na aplicação: geralmente os prazos de realização das obras são apertados e sujeitos a multas, originando por vezes a execução dos rebocos tradicionais em condições climáticas desfavoráveis. A mistura nos rebocos pré-doseados é feita de forma rápida e expedita no local da aplicação e permite uma maior produtividade  $m^2/homem$ . A sua utilização contribuiu para uma redução do tempo de execução quando comparada com o tempo de execução dos rebocos tradicionais.
- Facilidade de distribuição da argamassa nos pisos: o reboco é acarretado ao local de aplicação e aí misturado.
- Boa aderência ao suporte, fissuração controlada e impermeável (se necessário).
- Permeável ao vapor de água.

Desvantagens do reboco pré-doseado face aos rebocos tradicionais:

- Custo;
- Tempo de aplicação mais rápido;
- Menor resistência nos ensaios mecânicos;
- Argamassa mais pobre, com menor dosagem de cimento na sua constituição. Pode originar uma menor capacidade de impermeabilização.

Como mencionado no Capítulo III, um exemplo de uma argamassa pré-doseada com características impermeabilizantes é a argamassa Weber.dry KG, disponibilizada ao consumidor pela empresa Weber. Esta argamassa foi utilizada na realização dos ensaios, Capítulo V.

➤ **Weber.dry KG**

**Utilizações:**

Reboco de impermeabilização e regularização de:

- Paredes sujeitas a pressão directa e contra-pressão de água;
- Pavimentos, paredes e tectos;
- Caves, caixas de elevador, parques subterrâneos, túneis;
- Depósitos de água potável, piscinas, tanques, fontes.

**Limites de utilização:**

- Não utilizar em suportes fissurados ou em risco de fissuração;
- Não utilizar em meio ácido, com pH inferior a 5.

**Composição:**

- Cimentos especiais, areias siliciosas e calcárias, fumo de sílica, sais activos e outros aditivos

**Características de utilização:**

- Tempo de repouso depois de amassado: 2 minutos
- Vida do amassado: 45 minutos
- Tempo para revestir: 4 dias
- Espessura de aplicação: mínimo 10mm, entre camada de 5mm a 10mm
- Início de presa: 3 horas
- Tempo de espera para enchimento do depósito de água: 14 dias

Os tempos indicados, obtidos em condições ambientais normalizadas, poderão ser alongados a baixas temperaturas e encurtados a temperaturas mais elevadas.

### **Prestações:**

- Granulometria: max. 1,25mm
- Densidade do amassado: 1,9 g/cm<sup>3</sup>
- Densidade do produto endurecido: 1,9 g/cm<sup>3</sup>
- Retracção: <1mm/m
- Aderência sobre betão: 1,4 MPa (14kg/cm<sup>2</sup>)
- Resistência à flexotraccção: 5 MPa (50 kg/cm<sup>2</sup>)
- Resistência à compressão: 20 MPa (200kg/cm<sup>2</sup>)
- Resistência à traccção: 1 MPa (10kg/cm<sup>2</sup>)
- Resistência à pressão de água (NF 18-855): perda < 125cm<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>.24h
- Resistência à contra pressão de água (NF 18-855): perda < 125cm<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>.24h
- Alteração da potabilidade da água: nula (\*\*\*)

Os resultados foram obtidos em ensaios realizados em condições normalizadas, e podem variar em função das condições de aplicação.

(\*\*\*) Atestado de compatibilidade com água potável emitido pelo “ Laboratori Generali d’Assaig e Investigacions” da Generalitat da Catalunya, com o nº 97022988.

### **Preparação do suporte:**

- Comprovar que o suporte está consistente, limpo e seco, sem restos de óleos descofrantes.
- Remover as partes não resistentes como cal ou gessos.
- O betão novo deve estar estabilizado (28 dias).
- Corrigir defeitos de planeidade superiores a 2 cm com camadas sucessivas de Weber.dry KG.

- Encher os buracos e irregularidades com Weber.dry Basic.
- Humedecer sempre o suporte, pelo menos 3 horas antes da aplicação, bem como na altura da mesma.

#### **Aplicação:**

- Amassar Weber.dry KG manualmente ou com misturador eléctrico lento (500rpm), em recipiente próprio, com 3,5 a 4 litros de água limpa até obter uma massa homogénea.
- Humedecer o suporte.
- Realizar uma primeira camada com 2 a 5mm de espessura, passando uma talocha dentada sobre a superfície.
- Deixar secar, humedecer a superfície e voltar a aplicar a restante espessura de reboco, em camadas sucessivas de 5 a 10mm com uma espessura final mínima de 10mm.
- O produto pode ser reforçado com utilização de malha de fibra de vidro anti-alkalina (4x4mm) incorporada entre duas camadas.
- Realizar o acabamento com uma talocha ou esponja, segundo a textura desejada, depois de aguardado o tempo de maturação adequado.
- Molhar a superfície acabada, 6 horas após a aplicação e durante 4 dias.

#### **Recomendações:**

- Temperaturas de aplicação: 5 a 30 °C.
- Não aplicar sobre superfícies geladas ou em risco de gelar nas 24 horas seguintes.
- Em caves, assegurar a ventilação, para evitar condensações.
- Não aplicar sobre suportes encharcados.

- Para assegurar a impermeabilização, aplicar com uma espessura mínima de 15mm em qualquer ponto.

#### **Recomendações de segurança na utilização:**

- Pela presença de cimento na composição, o produto é considerado irritante para os olhos, vias respiratórias e mucosas.
- Como medida de protecção individual devem usar-se luvas não absorventes e vestuário de trabalho que evite o contacto do produto com o utilizador.

O uso de máscara de protecção de poeiras será necessário caso se formem nuvens de poeira significativas

#### ***Monomassas***

A monomassa é uma argamassa de revestimento, a sua formulação contém além dos componentes habituais da argamassa tradicional (areia seleccionada e aglomerados hidráulicos) a adição de outros aditivos especiais (fibras, reguladores de presa, retentor de água, cargas ligeiras, pigmentos, introdutores de ar, hidrófugos, resinas, entre outros). A adição dos vários aditivos confere às argamassas propriedades especiais que as diferenciam das argamassas tradicionais. A monomassa em termos funcionais é classificada como um revestimento de impermeabilização, tendo como principal função contribuir para a estanqueidade das paredes. Com a utilização da monomassa é apenas necessário uma camada de reboco para se obter todas as condições desejadas numa fachada; boa resistência mecânica, impermeabilização, cor e textura. Uma única camada desempenha as funções de um reboco tradicional aplicado em três camadas. Este tipo de argamassas pode ser aplicado manualmente ou por projecção. Quando são aplicadas de forma projectada existem produtos apropriados para este tipo de uso, e por isso aconselha-se a escolha de um produto específico dependendo do modo de aplicação. Em Portugal a utilização da monomassa como revestimento tem vindo a aumentar consideravelmente, devido às suas excelentes características. Para além das mencionadas anteriormente destacam-se ainda: a grande resistência do ponto de vista

higrotérmico; a resistência do ponto de vista estrutural; a rapidez de aplicação, visto não necessitar de pintura, e a excelente rendimento de mão-de-obra, menos camadas [11,19,24].

As falhas e defeitos que prejudicam um revestimento monomassa são geralmente os mesmos que afectam os rebocos tradicionais. A manifestação destes defeitos fazem-se notar quando a durabilidade e estética do reboco fica reduzida. Os dois principais defeitos que podem surgir num revestimento monomassa são defeitos de aspecto em que apenas a função decorativa é afectada, não prejudicando a qualidade e a durabilidade do revestimento. Outra anomalia muito frequente, é o comportamento e durabilidade do revestimento que pode provocar fissuração, falta de aderência e resistência e insuficiência ou falta de impermeabilização [11,25].

A fissuração neste tipo de revestimentos muitas das vezes surge devido a problemas já existentes no suporte que se pretende revestir, como por exemplo: fissuras existentes e assentamentos do terreno; insuficiente estabilização do mesmo ou a falta da malha de reforço necessária nas uniões de materiais diferentes (cerâmica-betão). No entanto, podem surgir fissuras devido às condições de aplicação como: aplicação do revestimento em condições atmosféricas muito secas e não sendo tomadas as devidas precauções; espessuras de aplicação excessivas ou excesso de água de amassadura [25].

A ocorrência de fissuração e a aplicação de espessuras insuficientes de revestimento pode levar a falhas de impermeabilização do mesmo, apresentando-se com mais intensidade na zona das juntas, pois é nesta zona que normalmente o revestimento alcança uma espessura mínima, e naturalmente apresenta menor resistência à penetração de humidade [25].

A aplicação da monomassa sobre um suporte inadequado ou mal preparado pode provocar falta de aderência. Como forma de a evitar, o suporte que se pretende revestir não deve estar [25]:

- Com restos de pó, pintura, gesso, descofrantes, entre outros;
- Muito quente, com humidade insuficiente ou saturado de água;

- Com uma resistência muito inferior ao revestimento aplicado como pode ser o caso do betão leve ou dos suportes em trabalho de restauro, em que pode chegar a acontecer o arrancamento do suporte.

A resistência de um revestimento monomassa está directamente relacionada com uma preparação incorrecta do produto, ou seja, amassadura com excesso de água, reamassadura do produto parcialmente endurecido, entre outros. Outro factor é, uma secagem da argamassa demasiado rápida devido às condições atmosféricas ou a um suporte muito absorvente, neste caso o cimento não tem a possibilidade de desenvolver toda a sua capacidade ligante [25].

Na Figura 16 apresenta-se um edifício de habitação onde foi aplicada a monomassa como revestimento exterior.



**Figura 16:** Exemplo de uma obra onde se aplicou o revestimento monomassa. Fonte: [24]

A monomassa surgiu como uma alternativa técnica e estética adequada para o acabamento de fachadas. Tem uma grande variedade de suportes admissíveis, são eles: tijolo, blocos de betão, betão, pedra e reboco de cimento. Com a aplicação de apenas um tipo de argamassa pode-se regularizar, proteger e decorar fachadas [24].

Vantagens dos rebocos monomassa face aos rebocos tradicionais [11]:

- Leves: densidade entre  $1000\text{Kg/m}^3$  e  $1500\text{Kg/m}^3$ ;
- Elásticos: admitem pequenos movimentos do suporte sem fissurar (muito importantes em trabalhos de reabilitação, para revestir alvenarias de baixa resistência que necessitem de uma menor sobrecarga, evitando o seu desprendimento);
- Impermeáveis: constituem uma barreira física eficaz à água da chuva, atrasando a sua penetração. O grau de impermeabilidade depende da espessura aplicada (decrece exponencialmente à medida que se reduz a espessura);
- Permeáveis ao vapor de água: tem uma porosidade que permite que o vapor de água que se forma no interior do edifício seja eliminado através do paramento.
- Grande aderência: tem uma grande aderência à base do suporte, tanto em fresco como depois do endurecimento;
- Rapidez e facilidade de colocação: aplicados numa só operação;
- Económicos: menos aplicações, em menor espaço de tempo, menor tempo de uso de andaimes; a médio e longo prazo porque a monomassa mantém um aspecto novo por muito tempo relativamente a outros revestimentos, e porque toda a espessura do produto é da mesma cor; não perdendo a cor por possíveis desprendimentos (como acontece com a pintura);
- Estéticos: interessantes decorações de fachada, escolhendo uma combinação de cores e acabamentos (carapinha, raspado, casca de carvalho, pedra, entre outros) em diferentes paramentos e elementos da fachada (parapeitos, frisos de janela e varandas, entre outros).
- Rendimento: sobre um suporte plano varia entre 20 e  $30\text{ kg/m}^2$  conforme a regularização do suporte e espessura aplicada;
- Fácil manutenção: toda a espessura do produto é da mesma cor. Esta não se perde por um possível desprendimento da camada superficial, como no caso da

pintura, pelo que não necessita de ser renovado ao fim de poucos anos. A sujidade entranhada na fachada pode-se eliminar com uma simples lavagem.

As monomassas para revestimentos exteriores carecem de norma oficial, no entanto as suas características estão identificadas pelo Comité Europeu de Normalização (CEN) do grupo de trabalho nº 125 que trata das argamassas de revestimento (CEN 125 / WG 2 / TG2) [25].

# CAPÍTULO V

## Ensaio

### 5.1 Introdução

### 5.2 Ensaio de capilaridade

### 5.3 Resistência à flexão

### 5.4 Resistência à compressão

### 5.5 Análise dos resultados

### 5.6 Análise de preços

## 5.1 Introdução

O estudo experimental foi realizado no Laboratório de Materiais e Solos, do Departamento de Engenharias, da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Foram realizados 3 tipos de ensaios, flexão, compressão e capilaridade, aos provetes de argamassas com as composições apresentadas na Tabela 11. Achou-se por bem a realização destes três ensaios pois qualquer um deles é importante para o bom funcionamento de um reboco. Os ensaios de flexão e compressão foram elaborados seguindo os critérios da Norma Portuguesa EN 196-1 [46]. Os ensaios à capilaridade foram elaborados segundo a Documentação Normativa – Especificação LNEC E393-1993 [45].

**Tabela 11:** Composição das argamassas

Argamassa		Composição	
Tradicional		Dosagem volumétrica	Constituintes
Designação	Tipo		
A1	Sem impermeabilizante	1:2	Cimento Portland (classe 42,5): areia fina
A2	Impermeabilizante SikaCim	1:2	Cimento Portland (classe 42,5): areia fina: SikaCim Hidrófugo
A3	Impermeabilizante Super Sikalite	1:2	Cimento Portland (classe 42,5): areia fina: Super Sikalite Hidrófugo
Pré-doseada		-	Cimento, areias siliciosas e calcárias, sais activos e aditivos
A4	Weber.dry KG		

Nos pontos seguintes vão ser apresentados os procedimentos adoptados para a realização dos ensaios referidos.

## 5.2 Ensaio de capilaridade

Foram realizados ensaios à capilaridade em provetes de cimento, tendo sido adoptada a Documentação Normativa – Especificação LNEC E393- 1993 [45].

“A absorção de água por capilaridade é a diferença entre a massa do provete de betão endurecido que esteve com uma das faces em contacto com a água durante um determinado tempo e a massa do provete seco, dividida pela área da superfície em contacto com a água. A absorção de água por capilaridade pode também ser aferida pela altura média da ascensão capilar medida perpendicularmente à face do provete que se encontra em contacto com a água.” [45]

### *Procedimento*

O molde utilizado para a elaboração dos provetes tem três compartimentos horizontais permitindo a preparação simultânea de três provetes prismáticos com a secção transversal de 40 mm x 40 mm e com 160 mm de comprimento. O traço utilizado nas argamassas tradicionais foi 1:2. A argamassa pré-doseada foi obtida de acordo com a ficha técnica, ver Capítulo V. As misturas dos constituintes das argamassas tradicionais e da pré-doseada foram feitas numa misturadora industrial (Figura 17) procedendo-se de seguida ao enchimento e vibração dos moldes (Figura 18).



**Figura 17:** Misturadora industrial



**Figura 18:** Vibração dos moldes

Foi feita uma cura dos provetes durante 28 dias. Em seguida foram secos na estufa durante 14 dias a uma temperatura de  $40 \pm 5^\circ\text{C}$ , para garantir que a diferença de massa entre duas pesagens consecutivas fosse inferior a 0,1%. Ao fim desse tempo foi determinada a massa inicial  $m_0$  (expressa em gramas) de cada provete.

Seguidamente encheram-se tabuleiros com água até uma altura de  $5 \pm 1$  mm e foram cuidadosamente introduzidos os provetes evitando molhar as faces superiores dos mesmos.

De acordo com os intervalos especificados na norma (3, 6, 24, 48 e 72 horas) fizeram-se pesagens de controlo, em balança. Durante todo o ensaio (72 horas), foi garantido um nível de água constante.

Para efectuar as medições retirou-se o provete do tabuleiro, permitindo que a água escorresse do provete e colocou-se sobre uma base não absorvente durante um período de  $60 \pm 5$  segundos. De seguida efectuaram-se as pesagens, obtendo-se assim as diferentes massas do provete nos tempos  $t_i$  ( $m_i$ ).

O cálculo da absorção por capilaridade ao fim do tempo  $t_i$ , foi obtido dividindo o aumento de massa,  $m_i - m_0$ , pela área da face inferior do provete que esteve em contacto com a água,  $A_f$ , expressa em  $\text{g}/\text{mm}^2$ .

### ***Resultados***

Na Tabela 12 apresentam-se todos os valores das massas obtidas em todos os períodos de tempo estudado, bem como a respectiva média para cada composição de argamassa.

**Tabela 12:** Massas obtidas durante a realização dos ensaios à capilaridade

Provetes		Massa (g)						
		Antes da estufa	Após 14 dias em estufa a 40°C					
			0h	3h	6h	24h	48h	72h
A1	1	568,14	542,35	545,05	546,07	547,63	548,58	548,64
	2	573,72	548,09	550,73	551,65	552,97	553,15	553,99
	3	560,04	535,09	537,72	538,67	540,04	540,50	540,67
	<b>Média</b>	<b>567,30</b>	<b>541,84</b>	<b>544,50</b>	<b>545,46</b>	<b>546,88</b>	<b>547,41</b>	<b>547,77</b>
A2	4	588,41	569,34	571,17	571,45	572,30	572,77	573,01
	5	584,62	565,67	567,16	567,62	568,32	568,94	569,08
	6	589,82	570,86	572,61	573,06	573,75	574,64	574,72
	<b>Média</b>	<b>587,62</b>	<b>568,62</b>	<b>570,31</b>	<b>570,71</b>	<b>571,46</b>	<b>572,12</b>	<b>572,27</b>
A3	7	562,88	543,26	544,42	544,82	545,77	546,52	546,83
	8	559,09	539,25	540,74	541,23	542,06	542,71	542,89
	9	561,73	542,28	543,47	543,86	544,85	545,53	545,70
	<b>Média</b>	<b>561,23</b>	<b>541,60</b>	<b>542,88</b>	<b>543,30</b>	<b>544,23</b>	<b>544,92</b>	<b>545,14</b>
A4	10	502,67	490,69	500,04	509,94	510,60	511,40	512,66
	11	503,63	490,35	500,09	508,35	509,02	510,88	512,77
	<b>Média</b>	<b>503,15</b>	<b>490,67</b>	<b>500,07</b>	<b>509,15</b>	<b>509,81</b>	<b>511,14</b>	<b>512,72</b>

A Tabela 13, foi elaborada com base na tabela anterior e corresponde aos valores de absorção por capilaridade, em média, que cada tipo de argamassa obteve. A absorção é expressa em  $\text{g}/\text{mm}^2$ . A área de contacto com a água é  $A_f = 1600 \text{ mm}^2$ .

**Tabela 13:** Valores referentes à absorção por capilaridade

Tipo de argamassa / Tempo (horas)	Raiz de t	$(m_i - m_0)/A_f$			
		A1	A2	A3	A4
3	1,732	0,0017	0,0011	0,0008	0,0059
6	2,449	0,0023	0,0013	0,0011	0,0115
24	4,899	0,0031	0,0018	0,0016	0,0120
48	6,928	0,0035	0,0022	0,0021	0,0128
72	8,485	0,0037	0,0023	0,0022	0,0138

Os Gráficos 5, 6, 7 e 8 apresentam a variação da quantidade de água absorvida por capilaridade das argamassas endurecidas.

A absorção de água é calculada pela variação de água absorvida por unidade de área com a raiz quadrada do tempo que se verificou essa absorção.

O coeficiente de correlação permite observar o comportamento conjunto entre duas variáveis e ajuda a determinar se existe uma relação entre elas. Analisando os Gráficos seguintes verificamos que existe uma relação entre as duas variáveis. Verifica-se que quando aumenta a absorção  $(m_i - m_0)/Af$ , a raiz de t tem tendência a aumentar também. Diz-se então que existe uma correlação entre as duas variáveis, sendo neste caso correlação positiva, pois um aumento de uma variável implica o aumento da outra.

O coeficiente de correlação linear é determinado pela equação:

$$r = \frac{S^2_{xy}}{\sqrt{(S^2_x \times S^2_y)}} \quad \text{Onde:} \quad S^2_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i \times y_i) - (\bar{x} \times \bar{y})$$

$$S^2_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i^2 - \bar{x}^2) \quad S^2_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i^2 - \bar{y}^2)$$

A média de x e y é dada pelas fórmulas:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{e} \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

A linha de tendência define o percurso evolutivo quer de subida quer de descida que as absorções estão a tomar ao longo do período de tempo. Analisando os Gráficos seguintes, pode-se verificar que apesar de ao longo dos vários períodos de tempo haver diferentes absorções de água, a linha de tendência mostra que a absorção aumenta ao longo do tempo.

A linha de tendência é representada pela seguinte expressão:  $y = mx + b$ , onde:

$$m = \frac{S^2_{xy}}{S^2_x} \quad \text{e} \quad b = \bar{y} - m \times \bar{x}$$

O declive de cada uma das rectas faculto o valor do Coeficiente de Absorção Capilar em  $\text{g}/\text{cm}^2$ . As linhas de tendência estão apresentadas a cor vermelha [47].

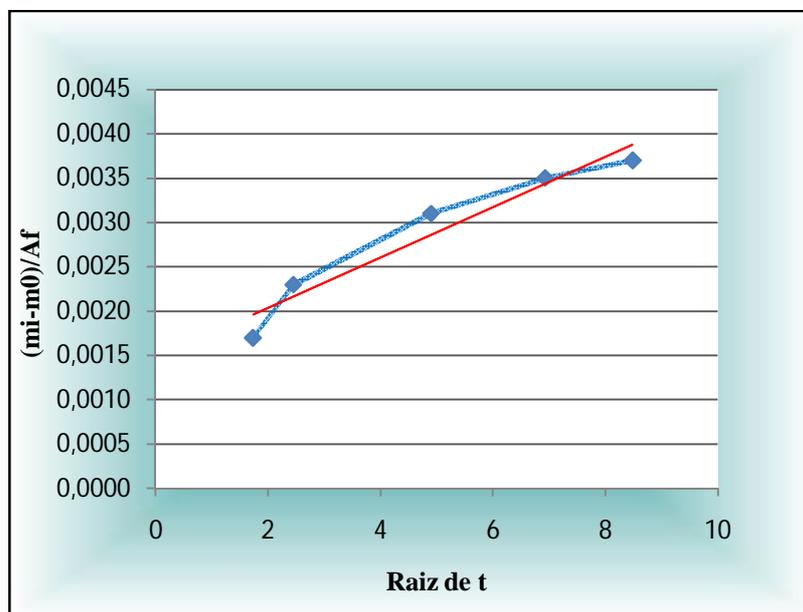


Gráfico 5: Absorção por Capilaridade – Argamassa A1

O coeficiente de correlação é de 96,77% e a linha de tendência tem por equação  $y = 0,0003x + 0,0015$ . Portanto, o coeficiente de absorção capilar é dado por  $0,0003 \text{ g}/\text{cm}^2$  (coeficiente angular da linha de tendência) (Gráfico 5).

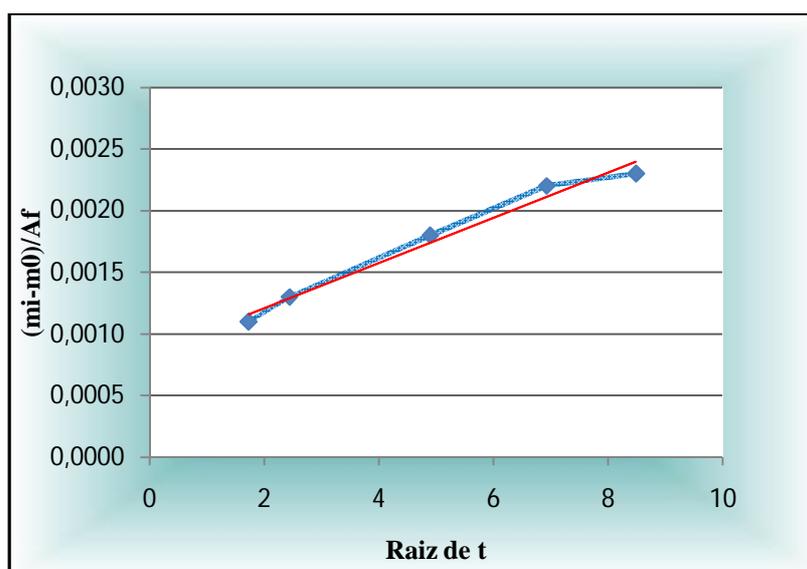
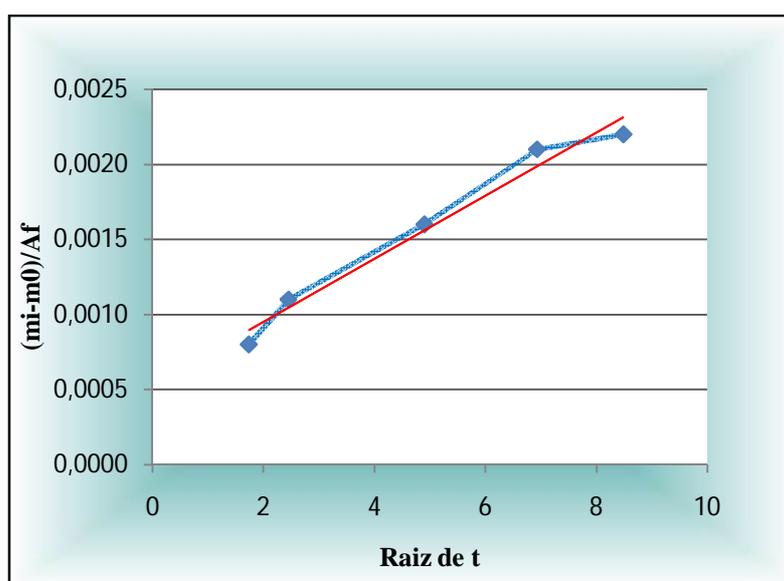


Gráfico 6: Absorção por Capilaridade – Argamassa A2

Na argamassa tradicional A2, o coeficiente de correlação é de 98,91% e a linha de tendência tem por equação  $y = 0,0002x + 0,0008$ . O coeficiente de absorção capilar é dado, neste caso, por  $0,0002 \text{ g/cm}^2$  (Gráfico 6).



**Gráfico 7:** Absorção por Capilaridade – Argamassa A3

Neste caso, o coeficiente de correlação é de 98,67% e a linha de tendência tem por equação  $y = 0,0002x + 0,0005$ . Então, o coeficiente de absorção capilar é dado por  $0,0002 \text{ g/cm}^2$  (Gráfico 7).

Na argamassa pré-doseada A4, o coeficiente de correlação é de 80,66% e a linha de tendência tem por equação  $y = 0,0009x + 0,007$ . Assim sendo, o coeficiente de absorção capilar é dado, neste caso, por  $0,0009 \text{ g/cm}^2$  (Gráfico 8).

Através da análise dos gráficos e das tabelas verifica-se que a quantidade de água absorvida pelos provetes foi bastante menor nas argamassas tradicionais (A1, A2 e A3) do que na argamassa pré-doseada (A4). Ao longo do período de tempo analisado, as argamassas tradicionais não sofreram, em nenhum período, uma absorção considerável. Por outro lado, a argamassa pré-doseada absorveu quantidades de água consideráveis, principalmente nas primeiras horas em contacto com a água.

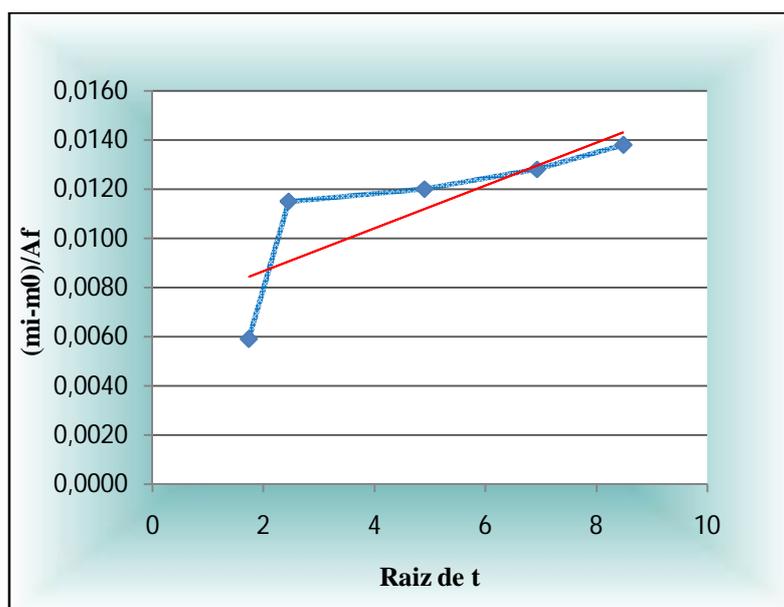


Gráfico 8: Absorção por Capilaridade – Argamassa A4

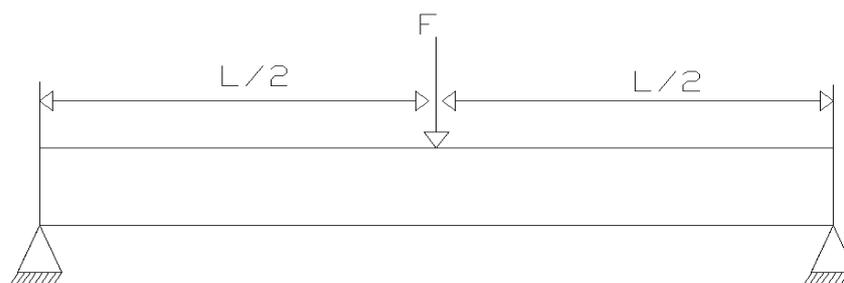
Quando comparados os resultados das argamassas tradicionais entre si, verifica-se uma absorção de água ao longo de todo o período de tempo semelhante entre elas. Mostrando-se serem, todas elas, uma boa escolha para evitar problemas de impermeabilização por capilaridade.

Estes resultados devem-se ao facto de as argamassas tradicionais serem mais ricas do que a pré-doseada utilizada.

### 5.3 Resistência à flexão

O ensaio à flexão consiste no estudo de materiais com o objectivo de determinar a tensão e flecha de rotura, permitindo também avaliar outras propriedades mecânicas, como o módulo de elasticidade à flexão. No entanto, de forma a evitar uma grande dispersão de resultados, deve-se proceder sempre à análise de vários ensaios para assim estabelecer um valor médio.

Para a determinação da resistência à flexão, foi usado o método de carga concentrada a meio vão. A realização do ensaio consiste em apoiar o provete em dois pontos distanciados de um comprimento ( $L$ ) e aplicar lentamente uma força de flexão ( $F$ ) no centro deste, ver Figura 19. A máquina de ensaio deve permitir a aplicação de cargas até 10 kN e com uma velocidade de  $(50 \pm 10)$  N/s [46].



**Figura 19:** Esquema de flexão de uma viga simplesmente apoiada

Nos ensaios de flexão a força aplica-se sempre a meio vão, pois é nesse ponto que a flexão será máxima. Quando da rotura do provete o valor da carga aplicada deverá ficar registado na máquina de ensaios.

### ***Procedimento***

Os provetes destinados a ensaios de flexão foram elaborados da mesma forma que os provetes destinadas aos ensaios de capilaridade. Os provetes foram conservados num ambiente húmido e partidos em duas metades por flexão, sendo cada metade submetida ao ensaio de compressão.

Nas argamassas tradicionais, os ensaios de flexão e compressão foram realizados aos 7 e 28 dias.

Enquanto na argamassa pré-doseada foram realizados apenas aos 28 dias, pois de acordo com a ficha técnica, o tempo de espera que a argamassa apresenta para começar



**Figura 20:** Análise à flexão

a dar resultados é de aproximadamente 14 dias. Foram também feitos ensaios à flexão e compressão nos provetes que estiveram sujeitos ao ensaio à capilaridade. A velocidade de carga nos provetes foi de 0,01 KN/s.

A máquina utilizada para a realização dos ensaios à flexão e compressão foi a Seydner mega 10/250/15D, (Figura 21).



Figura 21: Seydner mega 10/250/15D

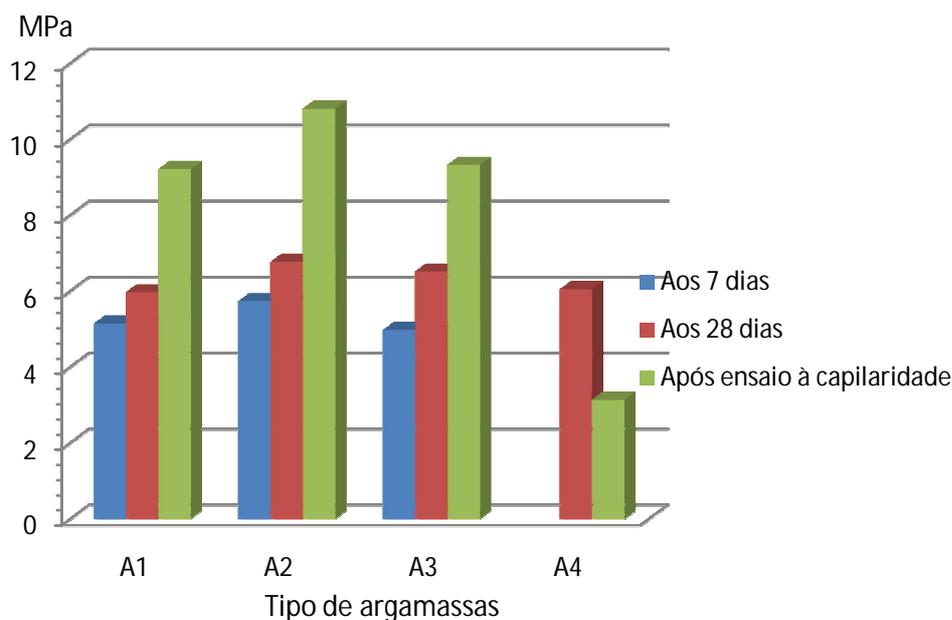
### ***Resultados***

No Gráfico 9 apresenta-se a resistência máxima obtida à flexão de todas as argamassas tradicionais. São apresentados os resultados obtidos aos 7 e 28 dias.

Analisando os resultados da flexão aos 7 dias, verifica-se que a argamassa tradicional A2 é a que apresenta maior resistência, cerca de 5,7 MPa, e a A3 é a que apresenta menor resistência, aproximadamente 5 MPa, no entanto não há grandes discrepâncias entre os valores obtidos para as três argamassas.

Comparando os resultados obtidos aos 28 dias com os obtidos aos 7 dias, a argamassa A2 continua a ser a mais resistente, cerca de 6,7 MPa. No entanto, a A3 é mais resistente (6,5 MPa) que a A1 (5,9 MPa). A argamassa A4 obteve uma resistência de aproximadamente 6 MPa.

Depois da análise à capilaridade os mesmos provetes foram submetidos a ensaios de flexão. Analisando os resultados, mais uma vez se verifica uma maior resistência obtida pela argamassa A2 (10,8 MPa). As restantes argamassas, A1 e A3 apresentam uma resistência semelhante. A A4 foi a que apresentou menor resistência, cerca de 3,14 MPa.



**Gráfico 9:** Resistência máxima obtida à flexão

Conclui-se ainda que a resistência de alguns provetes analisados após os ensaios à capilaridade é bastante mais elevada que nos restantes provetes ensaiados. Tal facto acontece pois os provetes sujeitos aos ensaios à capilaridade, após a cura aos 28 dias, estiveram 14 dias em estufa a uma temperatura de aproximadamente 40°C garantindo uma secagem total dos provetes aumentando-lhe assim a sua resistência. É importante salientar que nos provetes realizados com argamassa tradicional a absorção de água durante a realização dos ensaios à capilaridade não foi significativa, daí o aumento da resistência à flexão quando comparado com os valores obtidos aos 28 dias. O mesmo não aconteceu com a argamassa pré-doseada A4, a absorção de água foi considerável diminuindo assim a resistência à flexão quando comparada com a obtida aos 28 dias.

Pode-se concluir que, de todos os ensaios realizados, a argamassa que apresentou melhores resultados à flexão foi a argamassa A2, sendo constituída pelo SikaCim Hidrófugo.

## 5.4 Resistência à compressão

A resistência à compressão pode ser entendida como um esforço axial, distribuído de modo uniforme em toda a secção, que tende a provocar um encurtamento do corpo submetido a este esforço.

Nos ensaios de resistência à compressão deve-se aumentar a carga uniformemente à velocidade de  $(2400 \pm 200 \text{ N/s})$  durante toda a aplicação da carga, até à rotura de um corpo de prova colocado entre duas placas paralelas controladas. Quando o aumento de carga é regulado manualmente, deve-se compensar a redução da velocidade de carga perto da rotura [46].

### *Procedimento*

Os provetes utilizados na análise da resistência à compressão foram todas as metades partidas no ensaio de flexão. A velocidade de carga aplicada até á rotura dos provetes foi de aproximadamente 0,2 KN/s. Foi também compensado a redução da velocidade de carga perto da rotura dos provetes.



**Figura 22:** Análise à compressão

## Resultados

No Gráfico 10 são apresentados os resultados obtidos no ensaio à compressão por todos os tipos de argamassas tradicionais aos 7 e 28 dias, bem como pela argamassa pré-doseada, somente aos 28 dias pelas razões já referidas.

Observando os resultados obtidos à compressão, aos 7 dias, verifica-se que a argamassa A2 é a que apresenta maior resistência à compressão, cerca de 44,5 MPa. A A1 apresenta uma resistência semelhante, 44,4 MPa. A A3 é a que apresenta menor resistência, 43 MPa. No entanto, todos os valores obtidos são da mesma ordem de grandeza.

Tal como se verificou na análise aos 7 dias a argamassa A2 é a mais resistente aos 28 dias, aproximadamente 51 MPa. Contudo, a A3 é mais resistente (47 MPa) que a A1 (45,5 MPa). A que apresentou menor resistência foi a A4, cerca de 24,20 MPa. No entanto, segundo a ficha técnica desta argamassa a resistência à compressão garantida aos 28 dias seria de aproximadamente 20 MPa, valor esse que foi cumprido nos ensaios realizados.

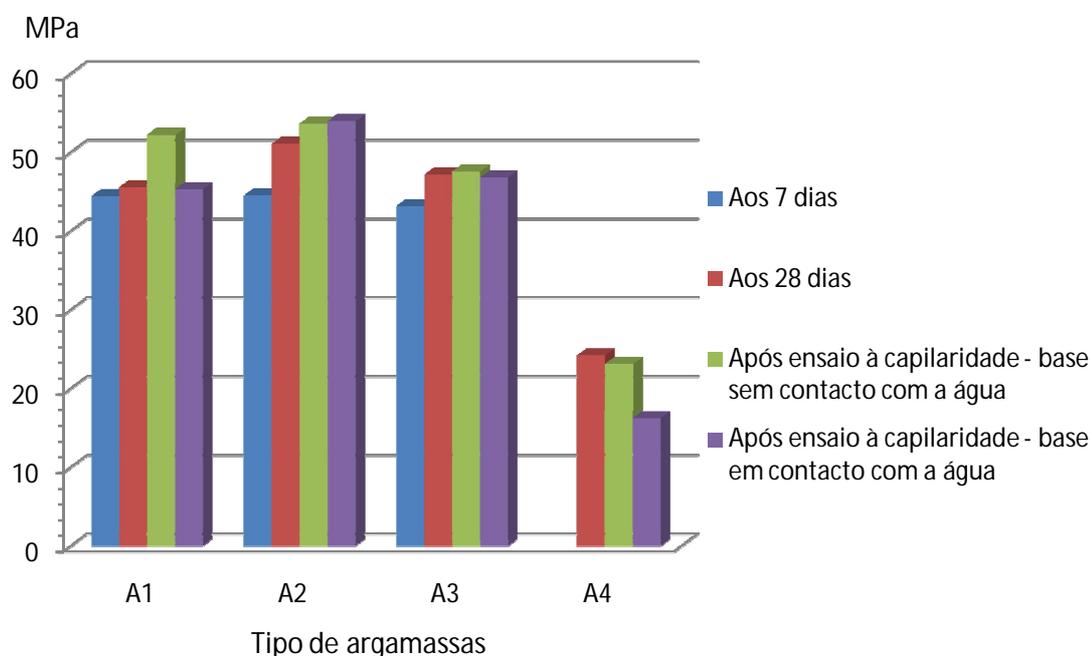


Gráfico 10: Resistência máxima obtida à compressão

Pode então concluir-se que as argamassas tradicionais apresentam melhor resistência à compressão aos 28 dias, sendo a argamassa constituída pelo SikaCim Hidrófugo a que mais se destaca.

Depois da análise à capilaridade os mesmos provetes foram também submetidos a ensaio de compressão. Da análise dos resultados à compressão da base que não esteve em contacto com a água durante os ensaios à capilaridade, verifica-se novamente uma maior resistência da argamassa A2, cerca de 53 MPa. Comparando as restantes argamassas tradicionais, verifica-se uma maior resistência da argamassa A1 comparativamente à argamassa A3, 52 MPa e 47 MPa respectivamente. Comparando a argamassa pré-doseada (A4) com as argamassas tradicionais, verifica-se uma enorme diferença de resultados, já que a resistência obtida pela argamassa A4 foi cerca de 23,12 MPa.

Analisando os resultados obtidos da base que esteve em contacto com a água durante a realização dos ensaios à capilaridade, verifica-se que a argamassa mais resistente é a A2 (54MPa), tal como vem acontecendo ao longo da análise dos vários resultados. Comparando as argamassas tradicionais, a argamassa A3 apresenta uma resistência de 46,8 MPa, sendo a argamassa A1 menos resistente, cerca de 45,3 MPa. Pode-se então concluir que o contacto com a água não afectou a resistência das argamassas hidrofugadas, verificando-se ainda um aumento da resistência na A2, quando comparada com a parte que não esteve em contacto com a água. Por outro lado verificou um decréscimo considerável na A1, o mesmo aconteceu com a argamassa pré-doseada A4 (16,23 MPa).

Relativamente aos resultados obtidos após os ensaios à capilaridade e pelas mesmas razões referidas nos ensaios à flexão, alguns provetes obtiveram melhores resultados quando comparados com a resistência obtida aos 28 dias. No entanto a diferença de resultados não foi tão relevante como nos ensaios à flexão. Das bases que estiveram em contacto com a água apenas a argamassa A2 obteve uma diferença significativa quando comparada com a resistência aos 28 dias, nas restantes argamassas tradicionais a resistência foi relativamente semelhante. Tal como aconteceu nos ensaios à flexão, a argamassa pré-doseada A4 foi a única cuja resistência após os ensaios à capilaridade

diminuiu comparativamente com a resistência aos 28 dias, mesmo das bases que não estiveram em contacto com a água.

Pode-se concluir que, de todos os ensaios realizados e tal como nos ensaios à flexão, a argamassa que apresentou melhores resultados à compressão foi a argamassa A2, sendo constituída pelo SikaCim Hidrófugo.

A Figura 23 mostra como ficaram os provetes após os ensaios à compressão.



**Figura 23:** Provetes após ensaio à compressão

## 5.5 Análise dos resultados

Como verificado anteriormente através das várias análises de resultados, a argamassa tradicional A2 constituída pelo SikaCim Hidrófugo foi a que apresentou melhores resultados em todos os ensaios mecânicos realizados.

Um dos factores importantes para o bom funcionamento desta argamassa foi o baixo teor de água de amassadura utilizado na sua preparação. Enquanto na argamassa tradicional A3 constituída pelo hidrófugo Super Sikalite a razão de água/cimento utilizada para se obter uma boa trabalhabilidade foi de 0,4 na argamassa A2 essa razão baixou para 0,35. Baixando o teor de água e mantendo a boa trabalhabilidade aumentou-se a resistência da argamassa.

Relativamente aos ensaios à capilaridade, as argamassas hidrofugadas (A2 e A3) foram as que apresentaram menores valores de absorção de água, sendo por isso as mais indicadas para garantir uma boa impermeabilização e evitar o aparecimento de patologias.

É importante referir que os ensaios foram realizados em laboratório. Mesmo com mão-de-obra pouco qualificada, é possível que em obra a argamassa pré-doseada continue a apresentar os mesmos resultados, pois é apenas necessário controlar a adição de água para a sua obtenção, sendo por isso a margem de erro pequena. No entanto as argamassas tradicionais podem não apresentar os mesmos resultados em obra, já que para a sua obtenção é necessário adicionar todos os seus constituintes (água, areia, cimento e hidrófugos), sendo a mão-de-obra pouco qualificada o erro nas dosagens pode tornar-se mais significativo.

**Nota:** Em anexo estão apresentados em tabelas todos os resultados obtidos na realização dos ensaios à flexão e compressão.

## 5.6 Análise de preços

Além dos factores importantes para a construção que foram mencionados ao longo deste trabalho, os preços dos produtos são fundamentais para o sucesso ou não do mesmo. Conciliar, qualidade/custo torna-se cada vez mais essencial.

Assim, quando se analisa o preço das argamassas utilizadas na realização deste trabalho, verifica-se que foi mais dispendioso utilizar a argamassa pré-doseada do que as argamassas tradicionais, ver Tabela 14.

Tabela 14: Análise de preços

Tipo de Argamassa	Constituição das argamassas	Preço
Argamassa A1	35Kg de cimento Portland, 42,5	4€
	Aprox. 70Kg de areia fina	2,56€
	Custo de mão-de-obra	3€
<b>Total</b>	105 Kg	9,56
<b>Preço por Kg</b>		<b>0,091€</b>
Argamassa A2	35Kg de cimento Portland, 42,5	4€
	Aprox. 70Kg de areia fina	2,56€
	Impermeabilizante SikaCim	1,68€
	Custo de mão-de-obra	3€
<b>Total</b>	105 Kg	11,24
<b>Preço por Kg</b>		<b>0,107€</b>
Argamassa A3	35Kg de cimento Portland, 42,5	4€
	Aprox. 70Kg de areia fina	2,56€
	Impermeabilizante Super Sikalite	1,99€
	Custo de mão-de-obra	3€
<b>Total</b>	105 Kg	11,55
<b>Preço por Kg</b>		<b>0,11€</b>
Argamassa4 A4	Saco de 25 Kg de Weber.dry KG	14€
<b>Preço por Kg</b>		<b>0,56€</b>

O preço da mão-de-obra é uma estimativa do tempo que um homem leva a fazer argamassa para um saco de cimento. Considerou-se aproximadamente 15 minutos, considerando que o empregado ganha 12 euros numa hora, então em 15 minutos são aproximadamente 3€ para a obtenção de 105 KG de argamassa (cimento + areia). O preço do cimento e da areia indicado já inclui o transporte para a obra, estes preços foram fornecidos pela empresa Bloqueira Martins, Lda, com sede em Fafe. Esta empresa disponibiliza ao consumidor o m<sup>3</sup> de areia por 36€, a areia é proveniente de Viana do Castelo. Em relação ao cimento, a empresa importa-o de Espanha. Os preços dos produtos (hidrófugos e Weber.dry GK) foram obtidos na empresa Martins, Cunha & C, Lda.

A menor utilização prática da argamassa pré-doseada deve-se essencialmente ao seu custo.

# CAPÍTULO VI

## Conclusões finais e trabalho futuro

Da realização deste trabalho conclui-se que, com o passar dos anos e devido às exigências de qualidade na construção, as argamassas sofreram várias alterações importantes, apesar do seu modo de obtenção assentar sempre no mesmo princípio, mistura de um ou mais ligantes com certa proporção de agregados.

Na década de 90 do século XX a construção Portuguesa sofreu um passo importante, com o início do fabrico das argamassas prontas em Portugal. Só em 2005 se assiste a uma aposta mais significativa neste tipo de argamassas na construção Portuguesa.

Apesar da forte aposta na melhoria da construção Portuguesa, as patologias continuam a surgir, assistindo-se ainda ao aparecimento de manchas, empolamentos e bolores nas edificações. O aparecimento destas patologias é devido a uma inadequada impermeabilização ou até mesmo à falta desta.

As principais patologias surgem nas coberturas e fachadas, tendo origem em grande parte dos casos em problemas de estanquidade à água da envolvente dos edifícios.

Dos ensaios realizados, e apesar de ser limitado o número de provetes submetidos a ensaio, pode-se concluir com alguma segurança que:

- As argamassas A2 e A3 apresentaram menores valores de absorção de água, sendo por isso as mais indicadas para impermeabilizar;
- De forma geral, todas as argamassas tradicionais atingiram patamares de elevada resistência mecânica, sendo a A2 a que apresentou melhores resultados;
- A melhoria da resistência mecânica da argamassa tradicional A2 pode ter sido conseguida devido à redução do teor de água de amassadura, dado que o hidrófugo utilizado é líquido;
- Nos ensaios à flexão a argamassa pré-doseada A4 obteve valores da mesma ordem de grandeza das argamassas tradicionais;
- Nos ensaios à compressão a argamassa pré-doseada A4 obteve valores muito reduzidos quando comparado com as restantes argamassas, no entanto os valores estabelecidos na ficha técnica foram atingidos;

- A argamassa pré-doseada A4 apresenta alguma debilidade à penetração de água por capilaridade;
- Em obra a argamassa pré-doseada deverá apresentar valores da mesma ordem de grandeza dos obtidos em laboratório, no entanto o mesmo pode não acontecer com as argamassas tradicionais, como explicado anteriormente.

Devido ao número reduzido de ensaios realizados neste trabalho, num futuro próximo é aconselhável a realização de novos ensaios, com diferentes composições de argamassas. Nomeadamente, seria interessante aproximar a dosagem de cimento das argamassas tradicionais da dosagem utilizada nas pré-doseadas. Devia-se também recorrer a outras marcas produtoras de argamassas pré-doseadas e outros aditivos hidrófugantes. Os provetes devem também ser sujeitos a outros tipos de ensaios importantes para um bom funcionamento de um reboco, como ensaios de tracção, corte e resistência à pressão da água, envelhecimento, entre outros.

# CAPÍTULO VII

## Referências Bibliográficas

- [1] APFAC (Associação Portuguesa de Fabrico de Argamassas de Construção): “Argamassas Fabris: Produção, Famílias, Normas”. Associação Industrial Portuguesa, Auditório COPRAI, Lisboa - 23 de Fevereiro de 2007
- [2] Secil. Internet. Disponível em:  
[http://www.secil.pt/default.asp?pag=historico\\_cimento](http://www.secil.pt/default.asp?pag=historico_cimento). Novembro de 2007.
- [3] Appleton, Júlio: “Um olhar sobre o betão”. In: Engenharia e vida Edição 11: pág. 56-61. Março de 2005
- [4] Internet. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org>. Novembro de 2007.
- [5] Associação Brasileira de cimento Portland. Internet. Disponível em [http://www.abcp.org.br/basico\\_sobre\\_cimento/historia.shtml](http://www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/historia.shtml). Novembro de 2007.
- [6] Paulo, Raquel: “Caracterização das Argamassas Industriais”. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro. Aveiro, 2006.
- [7] Vitruvius. Internet. Disponível em:  
[http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq028/arq028\\_01.asp](http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq028/arq028_01.asp). Novembro de 2007.
- [8] Marques, Sofia: “Estudo de Argamassas de Reabilitação de Edifícios Antigos”. Dissertação de Mestrado. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2005.
- [9] Internet. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Argamassa>. Novembro de 2007.
- [10] Veiga, Maria: “Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes”. Actas do 3º *ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios*. LNEC, Lisboa. Maio de 2003
- [11] Catálogo Técnico Topeca (2006)
- [12] Weber. Internet. Disponível em:  
[http://www.apfac.pt/eventos/sessao-aip\\_2005/Weber%202005\\_03\\_18.pdf](http://www.apfac.pt/eventos/sessao-aip_2005/Weber%202005_03_18.pdf). Dezembro 2007.

- [13] Maxit. Internet. Disponível em:  
<http://www.maxit.pt/>. Dezembro 2007.
- [14] Pelisser, Fernando; Fióri, Márcio; Gleize, Philippe; Becker, Ramon; Santos, Marcel: “Estudo de diferentes tipos de argamassas de revestimento à base de cimento com adição de cal e aditivos químicos”. In: APFAC (Associação Portuguesa de Fabrico de Argamassas de Construção), 2º Congresso de Argamassas de Construção, 2007.
- [15] Rodrigues, Paulina; Henriques, Fernando; Rato, Vasco: “Argamassas correntes: Influência do tipo de ligante e do agregado”. In: APFAC (Associação Portuguesa de Fabrico de Argamassas de Construção), 2º Congresso de Argamassas de Construção, 2007.
- [16] EMO, Dicionário Técnico, European Mortar Industry Organization, 3<sup>rd</sup> Edition, 2001.
- [17] Maxit. Internet. Disponível em: <http://www.maxit.pt/1386>. Dezembro 2007.
- [18] Paiva, Anabela: Apontamentos teóricos – Unidade curricular “Qualidade na Construção”. Universidade Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real, 2008.
- [19] “Argamassas fabris – Aplicações e características”. In: arte&construção Volume 205: pág. 42-48. Novembro de 2007
- [20] CIN (Corporação Industrial do Norte, S.A.) – “Fachadas – Sistemas de Tratamento e Protecção”. Março de 2004.
- [21] Alvarez, José: “Alvenarias e Argamassas anteriores ao Império Romano”. In: APFAC (Associação Portuguesa de Fabrico de Argamassas de Construção), 2º Congresso de Argamassas de Construção, 2007.
- [22] Coutinho, Joana (2002): “Ciência dos materiais – 1ª parte documento provisório”. Internet. Disponível em:  
[http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano1/CienciaDosMateriais/apontamentos/teorica\\_20022003/JSC\\_105a125.pdf](http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano1/CienciaDosMateriais/apontamentos/teorica_20022003/JSC_105a125.pdf). Janeiro 2008.

[23] Rodrigues, Paulina; Henriques, Fernando: “Avaliação comparativa de cais aéreas correntes”, 3º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 2003.

[24] Construlink. Internet. Disponível em:  
<http://monomassa.no.sapo.pt/monomassa.htm>. Janeiro 2008.

[25] Caderno de encargos condições técnicas especiais – Execução dos trabalhos. Internet. Disponível em [http://paginas.fe.up.pt/~construc/gp/docs2004-05/caderno\\_encar/exe\\_trabalhos/Monomassas.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~construc/gp/docs2004-05/caderno_encar/exe_trabalhos/Monomassas.pdf). Janeiro 2008.

[26] Silva, Narciso: “Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária”. Dissertação de Mestrado. Universidade federal do Paraná. Curitiba, Brasil, 2006

[27] Warren, John; “Conservation of Brick”, Cap. 12 – Mortars, Renderings and Plasters, Butterworth Heinemann, England, 1999.

[28] Veiga, Maria: “Comportamento de argamassas de revestimento de paredes – contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação”. Dissertação de Doutoramento. Universidade do Porto. Porto, 1998.

[29] Sika: “Catálogo de fichas de produto - Prontuário”. Edição nº. 7, 2007.

[30] Freitas, Vasco; Sousa, Sandro: “Um Contributo para a Sistematização do Conhecimento da Patologia da Construção em Portugal – [www.patorreb.com](http://www.patorreb.com)”. In: APFAC (Associação Portuguesa de Fabrico de Argamassas de Construção), 2º Congresso de Argamassas de Construção, 2007.

[31] Moita, Roger: “Humidade “versus” impermeabilização”. In: Arte e Cimento volume 14: pág 56-63. Maio de 2003.

[32] Dias, Alexandra: “Isolamento e impermeabilização em nome do conforto”. In: Arte e Cimento. Volume 14: pág 48-54. Maio de 2003.

[33] Afonso, F - Potencialidade do mercado de reparação e manutenção face às características do parque edificado. Seminário Censos 2001. Disponível em: [www.ine.pt](http://www.ine.pt). Dezembro 2006.

[34] Gonçalves, Adelaide; Brito, Jorge; Branco, Fernando: “Reabilitação de Paredes de Alvenaria Revestidas”. In: APFAC (Associação Portuguesa de Fabrico de Argamassas de Construção), 2º Congresso de Argamassas de Construção, 2007.

[35] Reis, Alessandra; Tristão, Fernando: “Análise de argamassas com resíduo de corte de rochas ornamentais”. In: APFAC (Associação Portuguesa de Fabrico de Argamassas de Construção), 2º Congresso de Argamassas de Construção, 2007.

[36] Paiva, Helena; Seabra, Maria; Labrincha, João; Ferreira, Victor: “Efeito da natureza do ligante no comportamento em fresco de uma argamassa de reabilitação”. In: APFAC (Associação Portuguesa de Fabrico de Argamassas de Construção), 2º Congresso de Argamassas de Construção, 2007.

[37] Seabra, Maria; Paiva, Helena; Labrincha, João; Ferreira, Victor: “Efeito dos adjuvantes no comportamento reológico de argamassas de cal aérea”. In: APFAC (Associação Portuguesa de Fabrico de Argamassas de Construção), 2º Congresso de Argamassas de Construção, 2007.

[38] Sequeira, Ana; Frade, Dina; Gonçalves, Paulo: “Cal Hidráulica – Um ligante para a reabilitação”. In: APFAC (Associação Portuguesa de Fabrico de Argamassas de Construção), 2º Congresso de Argamassas de Construção, 2007.

[39] Silosystem. Internet. Disponível em: <http://www.silosystem.cz/en/transportni-sila.php>. Fevereiro 2008.

[40] Ribeiro, Rui; Silva Luís; Ferreira, Victor; Labrincha, João. 2005: “Estudo da influência de cargas leves nas propriedades de uma argamassa bastarda”. In: APFAC (Associação Portuguesa de Fabrico de Argamassas de Construção), 1º Congresso de Argamassas de Construção.

[41] Veiga, Maria: “As argamassas na conservação”. In: Actas das 1<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Avaliação e Reabilitação das Construções existentes. Aveiro, 26 de Novembro de 2003

[42] Sousa, Victor; Pereira, Fernando; Brito, Jorge: “Rebocos tradicionais: principais causas de degradação”. Internet. Disponível em:  
[http://www.civil.uminho.pt/cec/revista/Num23/n\\_23\\_pag\\_05-18.pdf](http://www.civil.uminho.pt/cec/revista/Num23/n_23_pag_05-18.pdf). Março 2008.

[43] Lins Resinas. Internet. Disponível em:  
<http://www.linsresinas.com.br/noticia/?id=7>. Março de 2008.

[44] EN 998-1: “Specification for mortar for masonry – Part 1: Rendering and plastering mortar“. Abril 2003.

[45] Documentação Normativa – Especificação LNEC E393- 1993.

[46] Norma Portuguesa EN 196-1 (1996). “Métodos de ensaios de cimentos. Parte 1: Determinação das resistências mecânicas”.

[47] Pinto, Amândio: “Sistemas Ligantes Obtidos por Activação Alcalina do Metacaulino”. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho. Guimarães, 2003.



➤ **Ensaio aos 7 dias - Composição A1 (Sem hidrófugo)**

Provetes	Massa (g)	Flexão (MPa)	Compressão (MPa)	
	Inicial	Vflexão=0,01 KN/s	Vcompressão=0,2KN/s	
1	567,17	5,67	44,60	44,81
2	566,82	5,01	46,20	47,14
3	559,24	4,76	43,06	43,41
<b>Média</b>	<b>564,41</b>	<b>5,14</b>	<b>44,42</b>	

➤ **Ensaio aos 7 dias - Composição A2 (SikaCim Hidrófugo - Líquido)**

Provetes	Massa (g)	Flexão (MPa)	Compressão (MPa)	
	Inicial	Vflexão=0,01 KN/s	Vcompressão=0,2KN/s	
1	570,89	5,93	47,15	43,04
2	577,77	4,54	42,91	44,23
3	584,12	6,75	45,81	43,96
<b>Média</b>	<b>577,59</b>	<b>5,74</b>	<b>44,52</b>	

➤ **Ensaio aos 7 dias - Composição A3 (Hidrófugo Super Sikalite - Em pó)**

Provetes	Massa (g)	Flexão (MPa)	Compressão (MPa)	
	Inicial	Vflexão=0,01 KN/s	Vcompressão=0,2KN/s	
1	559,17	5,31	42,38	41,99
2	552,19	4,76	44,49	44,23
3	555,48	4,88	43,26	42,81
<b>Média</b>	<b>555,61</b>	<b>4,98</b>	<b>43,19</b>	

➤ **Ensaio aos 28 dias** - Composição A1 (Sem hidrófugo)

Provetes	Massa (g)	Flexão (MPa)	Compressão (MPa)	
	Inicial	Vflexão=0,01 KN/s	Vcompressão=0,2KN/s	
1	572,45	6,11	46,37	45,28
2	569,17	6,19	45,49	45,89
3	566,05	5,60	45,02	45,24
<b>Média</b>	<b>569,22</b>	<b>5,97</b>	<b>45,55</b>	

➤ **Ensaio aos 28 dias** - Composição A2 (SikaCim Hidrófugo - Líquido)

Provetes	Massa (g)	Flexão (MPa)	Compressão (MPa)	
	Inicial	Vflexão=0,01 KN/s	Vcompressão=0,2KN/s	
1	583,13	6,97	52,90	48,90
2	590,55	5,75	51,91	49,57
3	583,67	7,61	51,81	51,24
<b>Média</b>	<b>585,78</b>	<b>6,77</b>	<b>51,06</b>	

➤ **Ensaio aos 28 dias** - Composição A3 (Hidrófugo Super Sikalite - Em pó)

Provetes	Massa (g)	Flexão (MPa)	Compressão (MPa)	
	Inicial	Vflexão=0,01 KN/s	Vcompressão=0,2KN/s	
1	550,51	6,52	47,82	45,92
2	551,25	6,12	47,48	46,89
3	557,39	6,91	46,01	48,86
<b>Média</b>	<b>553,05</b>	<b>6,52</b>	<b>47,16</b>	

- **Ensaio aos 28 dias** - Composição A4 (Argamassa pré-doseada Weber.dry GK)

Provetes	Massa (g)	Flexão (MPa)	Compressão (MPa)	
	Inicial	Vflexão=0,01 KN/s	Vcompressão=0,2KN/s	
1	503,51	6,051	24,69	23,71
<b>Média</b>			<b>24,20</b>	

- **Após ensaio à capilaridade** - Composição A1 (Sem hidrófugo)

Provetes	Massa (g)	Flexão (MPa)	Compressão (MPa)	
	Inicial	Vflexão=0,01 KN/s	Vcompressão=0,2KN/s	
1	548,64	9,28	54,66	48,11 *
2	553,99	8,55	51,21	43,80 *
3	540,67	9,81	50,79	44,01 *
<b>Média</b>	<b>547,77</b>	<b>9,21</b>	<b>52,22</b>	<b>45,31 *</b>

\* Base que esteve em contacto com a água durante o ensaio à capilaridade

- **Após ensaio à capilaridade** - Composição A2 (SikaCim Hidrófugo - Líquido)

Provetes	Massa (g)	Flexão ( )	Compressão (MPa)	
	Inicial	Vflexão=0,01 KN/s	Vcompressão=0,2KN/s	
1	573,01	10,59	51,76	53,53 *
2	569,08	11,36	53,83	54,11 *
3	574,72	10,48	55,37	54,20 *
<b>Média</b>	<b>572,27</b>	<b>10,81</b>	<b>53,65</b>	<b>53,95 *</b>

\* Base que esteve em contacto com a água durante o ensaio à capilaridade

- **Após ensaio à capilaridade** - Composição A3 (Hidrófugo Super Sikalite – Em pó)

Provetes	Massa (g)	Flexão (MPa)	Compressão (MPa)	
	Inicial	Vflexão=0,01 KN/s	Vcompressão=0,2KN/s	
1	546,83	8,72	48,82	47,36 *
2	542,89	9,03	47,89	45,98 *
3	545,70	10,24	46,01	47,03 *
<b>Média</b>	<b>545,14</b>	<b>9,33</b>	<b>47,57</b>	<b>46,79 *</b>

\* Base que esteve em contacto com a água durante o ensaio à capilaridade

- **Após ensaio à capilaridade** - Composição A4 (Argamassa pré-doseada Weber.dry GK)

Provetes	Massa (g)	Flexão (MPa)	Compressão (MPa)	
	Inicial	Vflexão=0,01 KN/s	Vcompressão=0,2KN/s	
1	512,66	3,51	21,88	14,83 *
2	512,77	2,78	24,35	17,63 *
<b>Média</b>	<b>512,72</b>	<b>3,14</b>	<b>23,12</b>	<b>16,23 *</b>

\* Base que esteve em contacto com a água durante o ensaio à capilaridade