



**Beatriz Rosinha
Martins**

CONSOLIDAÇÃO DE REVESTIMENTOS ANTIGOS



**Beatriz Rosinha
Martins**

CONSOLIDAÇÃO DE REVESTIMENTOS ANTIGOS

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizado sob orientação científica do Professor Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e a coorientação da Doutora Helena Maria da Costa Paiva, Investigadora doutorada no CICECO-Universidade de Aveiro.

o júri

Presidente

Prof. Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
Professora associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Ana Fragata da Costa
Investigadora Auxiliar do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Prof. Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira
Professor associado da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador Prof. Victor Ferreira por toda a atenção, dedicação, pontualidade e disponibilidade, boa disposição e sobretudo pela paciência prestada durante todo este percurso

Agradeço também à Dr^a. Helena Paiva por toda a ajuda e apoio prestado, boa disposição, bem como toda a persistência e partilha de conhecimento transmitido.

A todos aqueles com quem tive o prazer de partilhar estes anos em Aveiro e aos meus amigos, um obrigado por todo o apoio e por todos os momentos que passamos juntos.

Gostaria especialmente de agradecer à Carolina e Ana Virgínia, que acompanharam mais de perto todo este trajeto, por tudo o que tive oportunidade de viver com elas, em particular pelo seu forte e incansável companheirismo e boa disposição.

A todos os que acompanharam esta caminhada à distância, pela profunda amizade que os distingue.

Por último, aos meus pais pela forma como dirigiram todo este caminho não deixando que, em momento algum, alguma coisa me faltasse, por todo o apoio, força e motivação, conselhos e advertências e por tudo aquilo que jamais as palavras possam caracterizar, a vocês dedico este momento.

palavras-chave

Calda de injeção, consolidação de revestimentos, cal aérea, cal hidráulica

resumo

A reabilitação em Portugal tem vindo a crescer exponencialmente, tal como no resto da Europa. É importante que a conservação e a reabilitação dos edifícios históricos e valor patrimonial sejam uma das preocupações das sociedades atuais. Atualmente ainda existe muita construção que, pela sua qualidade construtiva, sofre de deficiências e degradação.

O presente trabalho pretende contribuir para aprofundar o conhecimento das caldas de injeção, desenvolvendo-as, a fim de perceber como é que se comportam na consolidação dos revestimentos antigos. Estas caldas de injeção precisam de ser compatíveis com os materiais existentes e também economicamente viáveis.

Foram desenvolvidos métodos de avaliação do desempenho das caldas de injeção, quanto à sua capacidade de injetabilidade e grau de aderência.

O grau de aderência das caldas de injeção obtido foi baixo mas coerente com os tipos de caldas de cal. As duas caldas finais adotadas cumpriram o objetivo de possuírem grande capacidade de injetabilidade, boa fluidez e preenchimento de todos os espaços vazios.

keywords

Grout, conservation, aerial lime, hydraulic lime

abstract

Conservation in Portugal has been growing exponentially as in the rest of Europe. It is important that the conservation and renovation of historic buildings with its heritage value continues to be one of the concerns of contemporary societies. Currently there is a lot of construction that suffers from deficiencies and degradation due to its initial poor quality.

This work attempts to contribute for a better knowledge of injection grouts and is aimed at understanding how these materials behave in the consolidation of old coatings. These grouts must not only be compatible with existing materials but also economically viable.

Methods for performance assessment of injection grouts were developed taking in consideration both their injection ability and level of adherence.

The obtained degree of adhesion of the injection grouts was low but consistent with this type of lime based grouts. The two final adopted grouts met the goal of great injection ability, good fluidity and good performance at filling all the empty spaces.

Índice

Índice de Figuras	III
Índice de Tabelas	VI
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento: a importância da conservação do património	1
1.2. Objetivos	2
2. Consolidação de Revestimentos Antigos	5
2.1. Conservação do património arquitetónico	5
2.1.1. Revestimentos de paredes	5
2.1.2. Estratégias de intervenção em revestimentos antigos	7
2.1.3. Estado de conservação dos revestimentos	6
2.2. Caldas de injeção para consolidação de revestimentos	8
2.2.1. Caldas de injeção	13
2.2.2. Técnicas de aplicação de caldas de cal	21
3. Metodologia experimental	27
3.1. Materiais e Ensaio Preliminares	27
3.1.1. Formulações preliminares	27
3.1.2. Desenvolvimento do teste de injetabilidade	28
3.2. Caldas de injeção com comportamento em fresco retificado	33
3.3. Caracterização reológica das caldas de injeção	34
3.4. Ensaio de caracterização das argamassas de reboco	37
3.4.1. Determinação da resistência mecânica dos rebocos	37
3.4.2. Ensaio de capilaridade dos rebocos	38
3.5. Ensaio de aderência das caldas de injeção	39
3.5.1. Ensaio preliminares	39
3.5.2. Aderência das caldas de injeção com formulação ajustada	42
3.5.3. Aderência com caldas de injeção pulverizadas com água	42
3.6. Ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão	43
3.7. Ensaio de carbonatação	44
4. Resultados e discussão	49
4.1. Ensaio preliminares das caldas de injeção	49
4.2. Ajuste do comportamento reológico das caldas de injeção	51

4.2.1. Ajuste do comportamento reológico da calda de injeção de cal hidráulica.....	53
4.2.2. Ajuste do comportamento reológico das caldas de injeção de cal aérea	54
4.2.3. Comportamento reológico das caldas de injeção adotadas.....	55
4.3. Comportamento das argamassas de reboco	57
4.3.1. Resistência mecânica à flexão e compressão.....	58
4.3.2. Capilaridade das composições das argamassas de reboco.....	59
4.4. Ensaio de escoamento com as novas caldas de injeção	61
4.5. Ensaio de aderência.....	62
4.5.1. Ensaio preliminar.....	62
4.5.2. Ensaio de aderência da calda de injeção com formulação ajustada.....	64
4.6. Ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão	68
4.7. Ensaio de carbonatação da calda de injeção.....	69
5. Conclusão.....	75
Referências bibliográficas	81

Índice de Figuras

Figura 1 – Revestimento antigo em várias camadas (Veiga e Aguiar, 2003)	5
Figura 2 – Reboco bastardo de substituição com cerca de 2 meses: degradação devido a sais higroscópicos (Veiga, 2006).....	7
Figura 3 – Camadas de acabamento de substituição de cimento: destacamento e degradação da estrutura (Veiga, 2006)	7
Figura 4 – A presença de introdutor de ar promove a formação de bolhas estáveis entre os grãos de cimento e agregados (Coutinho, 1997)	18
Figura 5 – Aglomeração de partículas de cimento com ar aprisionado numa argamassa sem adjuvante; (b) Na presença de adjuvante (agente plastificante) as partículas de cimento estão dispersas permitindo libertação do ar (Coutinho, 1997)	21
Figura 6 - Esquema sobre aplicação de calda de injeção (adaptado de Mitronatsios et al., 2010).....	23
Figura 7 – Equipamento de injeção ‘pressure pot’ (Luso, 2007).....	24
Figura 8 – Técnica de aplicação da calda de injeção (Tavares, 2009)	24
Figura 9 – Provetes simulando descolamento entre camadas (Tavares et al., 2007)	28
Figura 10 – Tijolo com alguns canais.....	29
Figura 11 – Tijolo com canais e com o acrílico colado.....	29
Figura 12 – Argamassa com molhagem antes da injeção da calda de injeção	30
Figura 13 – Introdução da calda de injeção com uma seringa com as dimensões adequadas	30
Figura 14 – Distribuição granulométrica da areia da argamassa de suporte, AR.....	31
Figura 15 – Distribuição granulométrica da areia da argamassa de suporte, AM.....	32
Figura 16 - Esquema de preparação das argamassas de suporte AR e AM.....	33
Figura 17 – Mistura dos materiais sólidos com a água na misturadora.....	35
Figura 18 – Reómetro utilizado na avaliação reológica de argamassas (Viskomat NT).....	35
Figura 19 - Detalhes do reómetro (Viskomat PC) para argamassas e caldas de injeção.....	36
Figura 20 – Curvas de fluxo para fluidos ideais.....	36
Figura 21 – Provetes prismáticos das argamassas AR e AM	37
Figura 22 – Máquina de ensaio mecânico (à flexão e à compressão)	38
Figura 23 – Argamassa de cal aérea, AR e AM a saturar aos 28 dias.....	39

Figura 24 – Processo de colagem com as caldas de injeção dos seguintes provetes A1, A2, B e C.....	40
Figura 25 – Pastilha de ensaio sobre a zona com calda de injeção	40
Figura 26 – Encaixe do dinamómetro na pastilha, para iniciar o ensaio de arrancamento .	41
Figura 27 – Esquema representativo do tipo de bloco em estudo, onde se descreve as diversas interfaces existente	41
Figura 28 – Provetes cilíndricos para utilização no ensaio de aderência	42
Figura 29 – Provetes cilíndricos com a pastilha já colada com a cola epóxida.....	42
Figura 30 – Ensaio de aderência aos provetes cilíndricos	42
Figura 31 – Provetes cilíndricos pulverizados 4 em 4 dias em toda a superfície	43
Figura 32 – Ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão (tubos de Karsten)	44
Figura 33 – Ensaio com fenolftaleína nos provetes de tijolo	45
Figura 34 – Ensaio com fenolftaleína nos provetes cilíndricos.....	45
Figura 35 – Calda de injeção de cal hidráulica num recipiente com sedimentação no fundo	49
Figura 36 – Pormenor da sedimentação da calda de injeção de cal hidráulica	49
Figura 37 – Introdução da calda de injeção de cal hidráulica na argamassa de cal aérea com três anos de cura	50
Figura 38 – Amostra injetada com CH_1 apresenta todos os espaços preenchidos.....	50
Figura 39 – Calda de injeção de cal aérea muito espessa não conseguindo preencher todos os espaços vazios.....	50
Figura 40 – Calda de injeção de cal aérea com fissuras após alguns minutos de secagem.	51
Figura 41 – Variação do torque em função do tempo de ensaio para a calda de cal hidráulica (CH_1).....	52
Figura 42 – Parâmetro reológico g da calda de injeção de cal hidráulica, CH_1.....	52
Figura 43 – Parâmetro reológico h da calda de injeção de cal hidráulica, CH_1.....	53
Figura 44 – Variação do torque em relação em função do teor de agente retentor de água presente nas diferentes formulações	54
Figura 45 – Variação de torque com o tempo de ensaio, para as diferentes composições da calda de cal aérea com metacaulino.	55
Figura 46 – Variação do torque em relação ao tempo para as composições adotadas comparativamente com a composição de referência.	56

Figura 47 – Valores do parâmetro reológico g para as caldas escolhidas comparativamente com a composição de referência.....	56
Figura 48 – valores do parâmetro reológico h para as caldas escolhidas comparativamente com a composição de referência.....	57
Figura 49 – Resistência mecânica à flexão das argamassas de reboco AR e AM.....	58
Figura 50 – Resistência mecânica à compressão.....	59
Figura 51 – Medição do coeficiente de capilaridade de AM.....	60
Figura 52 – Medição do coeficiente de capilaridade de AR.....	60
Figura 53 – Curvas de absorção de água das argamassas de reboco AR e AM.....	60
Figura 54 – Calda de injeção de cal aérea com os espaços vazios todos preenchidos.....	61
Figura 55 – Introdução da calda de injeção de cal hidráulica.....	62
Figura 56 – Calda de injeção de cal hidráulica com os espaços vazios todos preenchidos.	62
Figura 57 - Tipo de rotura coesiva das amostras 1, 2 e 3 da tabela 9.....	63
Figura 58 – Rotura adesiva na amostra 4.....	64
Figura 59 – Esquema das amostras para ensaio adesão.....	65
Figura 60 - Provetes circulares de cal aérea com calda de injeção de cal aérea e hidráulica com rotura coesiva.....	67
Figura 61 – Amostra circular de argamassa de cal aérea com calda de injeção de cal hidráulica, rotura adesiva.....	67
Figura 62 – Amostra circular de argamassa de cal aérea com calda de injeção de cal aérea, com rotura coesiva.....	67
Figura 63 – Tipo de rotura coesiva com a argamassa pulverizada.....	68
Figura 64 – Tubos de Karsten, para o ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão	68
Figura 65 – Valores de absorção de água nos tubos de Karsten.....	69
Figura 66 – Provetes circulares no ensaio de carbonatação.....	71
Figura 67 – Carbonatação das caldas de injeção em provetes circulares.....	71
Figura 68 – Ensaio de carbonatação feito no ensaio de escoamento.....	72
Figura 69 – Carbonatação com 28 dias com calda de injeção de cal aérea e hidráulica.....	72
Figura 70 – Carbonatação com 60 dias com calda de injeção de cal aérea e cal hidráulica	72

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Classificação do estado de conservação do revestimento segundo Aguiar e Veiga (2003).....	9
Tabela 2 – Critérios gerais de decisão sobre o tipo de intervenção segundo Aguiar e Veiga (2003)	10
Tabela 3 – Exigências básicas para uma calda de injeção (Tavares, 2009)	14
Tabela 4 – Composição das caldas de injeção iniciais	27
Tabela 5 – Composição da argamassa de reboco AR.....	31
Tabela 6 – Composição da argamassa de reboco AM.....	32
Tabela 7 – Composição das novas caldas de injeção	34
Tabela 8 – Resultados do coeficiente de capilaridade para as argamassas AR e AM.....	61
Tabela 9 – Ensaio preliminar de aderência.....	63
Tabela 10 – Ensaio de resistência de arrancamento em provetes circulares com argamassa de composição AR e AM com 28 dias de cura	65
Tabela 11 – Ensaio de resistência de arrancamento em provetes circulares com argamassa de composição AR e AM (60 dias de cura).....	66
Tabela 12 - Ensaio de aderência, com molhagem de 4 em 4 dias (60 dias).....	66
Tabela 13 – Classificação do ensaio de carbonatação com fenolftaleína, aos 28 e 60 dias	70

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1. Introdução

1.1. Enquadramento: a importância da conservação do património

A reabilitação em Portugal tem vindo a crescer exponencialmente, tal como no resto da Europa. É importante que a conservação e a reabilitação dos edifícios históricos e valor patrimonial sejam uma das preocupações das sociedades atuais. Atualmente ainda existe muita construção que pela sua qualidade construtiva, sofre de deficiências e degradação (Azeiteiro et al., 2012; Silva, 2012)

Os elementos mais atingidos pela falta de manutenção são as fachadas. É através delas que temos o primeiro impacto, quer a nível de identidade quer a nível histórico. Os revestimentos também têm um papel importante, pois são eles que protegem as alvenarias de quaisquer ações de agentes externos. Estes agentes são os responsáveis pela degradação e posterior aspeto dos edifícios. A falta de coesão, aderência e destacamentos são as patologia que mais afetam as fachadas (Gonçalves et al. 2007; Luso, 2012).

Os edifícios demonstram a década em que foram construídos. Os materiais utilizados na construção, tal como as suas técnicas representam a época e o local onde são realizados. Cada edifício indica uma época, um conhecimento, um hábito sociocultural diferente. Quando se fala em monumento, fala-se de algo com história, com bastante importância e por essa razão é necessário adaptar o que hoje sabemos ao que antes se fazia. Não é obrigatório igualar imitar a construção inicial, mas é importante manter as suas características e a sua identidade, para que a sua durabilidade não seja comprometida (Couto e Couto, 2007).

A consolidação dos revestimentos antigos é feita superficialmente (nas primeiras camadas de reboco) e por essa razão o aumento de resistência mecânica não é fácil de quantificar. Para tal, é importante testar e repetir vários métodos *in situ*, a fim de encontrar os mais adequados para cada caso (Tavares et al, 2007, Veiga et al, 2009).

1.2.Objetivos

O presente trabalho pretende contribuir para aprofundar o conhecimento sobre as caldas de injeção, desenvolvendo-as, a fim de perceber como é que as caldas (também denominadas por grout) se comportam na consolidação dos revestimentos antigos. Estas caldas precisam de ser compatíveis com os materiais existentes e também economicamente viáveis.

Este trabalho tem como objetivo a compreensão do funcionamento e o desenvolvimento de caldas de injeção com base em cal aérea e cal hidráulica, avaliando o efeito do tipo de ligante a ser utilizado, dos aditivos e dos adjuvantes introduzidos. Finalmente, faz também parte do objetivo o desenvolvimento de métodos de avaliação do desempenho das caldas de injeção quanto à sua capacidade de injetabilidade e o seu grau de aderência.

Capítulo 2

CONSOLIDAÇÃO DE REVESTIMENTOS ANTIGOS

2. Consolidação de Revestimentos Antigos

2.1. Conservação do património arquitetónico

2.1.1. Revestimentos de paredes

Os revestimentos exteriores têm sido alvo de estudo por parte de entidades competentes. Este estudo faz com que, em termos metodológicos, técnicos e científicos haja uma grande evolução. Na estrutura de um edifício, os revestimentos são um dos elementos mais importantes pois estes protegem o edifício. Muitas vezes também possuem a função decorativa, muito importante, principalmente em edifícios históricos (Tavares, 2009; Veiga, 2012)

Os revestimentos tinham, regularmente, diferentes camadas com diferentes funções (Figura 1):

- Camadas de regularização e proteção: Emboço; Reboco; Esboço.
- Camadas de proteção, acabamento e decoração: Barramento (ou guarnecimento); Pintura, em geral mineral; Ornamentação.

Antigamente, as camadas de regularização continham argamassa de cal e areia e às vezes minerais e aditivos orgânicos. A porosidade e a deformabilidade aumentavam das camadas internas para as externas, ou seja, as camadas externas comportavam-se melhor à penetração de água e à deformação estrutural. Estas continham uma granulometria mais fina do que as internas (Veiga e Aguiar, 2003).



Figura 1 – Revestimento antigo em várias camadas (Veiga e Aguiar, 2003)

2.1.2. Estado de conservação dos revestimentos

O estado de conservação dos revestimentos existentes pode ser caracterizado pelos tipos de anomalias que revelam (Magalhães, 2002).

Um revestimento fendilhado mesmo que se encontre em muito mau estado é facilmente reparado, recorrendo a técnicas bastante conhecidas. Quando se trata de deficiências de aderência ao suporte ou de coesão entre as partículas, cuja preservação exige o emprego de técnicas mais caras e complexas o reparo não é fácil. Relacionando, não só o grau, mais ou menos elevado da degradação provocada, mas também com a sua reparabilidade, surge assim o conceito de severidade da anomalia (Tabela 1 e 2) (Veiga e Aguiar, 2003).

A perda de coesão e o destacamento, ou perda de aderência, entre camadas ou entre o revestimento e o suporte são anomalias que necessitam o recurso a técnicas de consolidação.

Para que as técnicas sejam aplicadas é necessário identificar as anomalias e eliminá-las. Na maioria dos casos a cristalização de sais solúveis (eflorescências), enquanto cripto-eflorescências mais ou menos profundas, está na origem destes tipos de anomalias. Então é necessário controlar os mecanismos que provocam os ciclos de dissolução e transporte de sais seguidos de secagem e cristalização, com a consequente destruição da estrutura porosa. É fundamental reduzir a circulação de água e alterar a localização da frente de secagem (Santos e Veiga, 2012, Santos et al., 2012).

A consolidação da coesão faz-se por aplicação de um consolidante na superfície exterior de um revestimento aplicado. Pode fazer-se por pulverização ou por pincelagem mas, se considerarmos a situação comum de uma superfície extensa vertical de um revestimento aplicado, a pulverização é a técnica de execução mais fácil e rápida. Este tratamento tem de ser, sempre, compatível com o revestimento antigo.

Há vários tipos de consolidantes disponíveis, orgânicos ou inorgânicos. A água de cal é um consolidante natural e muito antigo, mas a reduzida concentração de hidróxido de cálcio motivada pela baixa solubilidade deste composto obriga a um elevado número de pulverizações para se conseguir uma razoável recuperação de ligante, tornando o processo muito lento e trabalhoso.

2.1.3. Estratégias de intervenção em revestimentos antigos

Quando se fala de restauro dos revestimentos, normalmente fala-se da substituição do revestimento existente por outro com aspeto semelhante e pensa-se vagamente numa camada de "verniz" que o proteja da água e do seu potencial deteriorante. Ou seja, remove-se o revestimento antigo, perdendo para sempre um testemunho valioso, irrepetível, de uma estética e de uma tecnologia - que mesmo se ilegível para muitos, alguns saberiam ler e traduzir - muitas vezes sem guardar sequer um registo completo da sua imagem e da sua composição; depois substituísse por um revestimento novo, mais homogéneo, mais impermeável, com maior resistência mecânica, portanto supostamente mais perfeito e mais durável, que no entanto acaba por revelar-se anónimo e plastificado (Figura 2), por envelhecer depressa e, às vezes, mal e, ironicamente, por acelerar a degradação da própria estrutura do edifício (Figuras. 3).



Figura 2 – Reboco bastardo de substituição com cerca de 2 meses: degradação devido a sais higroscópicos (Veiga, 2006)



Figura 3 – Camadas de acabamento de substituição de cimento: destacamento e degradação da estrutura (Veiga, 2006)

2.2.Caldas de injeção para consolidação de revestimentos

A calda de cal de injeção é utilizada no preenchimento, homogeneização, consolidação e/ou na melhoria das propriedades mecânicas de sistemas que apresentem cavidades, vazios, fendas ou falta de coesão ou de sistemas totalmente não coesos (Luso et al., 2007)

As caldas de cal e os materiais que a constituem devem ser compatíveis com o meio que as irá receber, de forma a evitar danos químicos ou mecânicos nos materiais já existentes e modificações profundas na estrutura (Vieira, 2011)

A seleção dos materiais a fim de consolidar e reparar é efetuada tendo por base alguns parâmetros já estabelecidos por investigadores.

A consolidação permite a reparação de fraturas através das caldas de injeções. Algumas áreas também podem ser consolidadas com a perda física de material dos elementos. As suas propriedades mecânicas, por consequência do aumento da coesão (Tavares et al., 2003).

A técnica de consolidação é uma técnica irreversível, é impossível voltar atrás, não podem ser removidos ou substituídos. O critério desta reversibilidade em intervenções de conservação e restauro é referido pela necessidade de proteger os edifícios históricos e sem valor histórico de transformações incorretas, que sejam resultado, de intervenções de consolidação (Luso et al., 2007).

Tabela 1 – Classificação do estado de conservação do revestimento segundo Aguiar e Veiga (2003)

Tipo de Anomalia	Grau	Intervenção mínima (após tratamento)	Classificação
Fendilhação	Elevado	Reparação localizada	Severidade 3
	Médio	Reparação localizada superficial	Severidade 2
	Reduzido	Manutenção	Severidade 1
Eflorescências e Cripto-eflorescências	Elevado	Substituição parcial	Severidade 4
	Médio	Reparação localizada	Severidade 3
	Reduzido	Reparação localizada superficial	Severidade 2
Bio deterioração	Elevado	Reparação localizada	Severidade 3
	Médio	Reparação localizada superficial	Severidade 2
	Reduzido	Manutenção com tratamento biocida	Severidade 1
Perda de aderência	Elevado	Substituição parcial	Severidade 5
	Médio	Preenchimento de lacunas	Severidade 4
	Reduzido	Consolidação (Recolagem ao suporte ou entre camadas)	Severidade 3
Perda de coesão ou desagregação	Elevado	Substituição parcial	Severidade 5
	Médio	Substituição parcial	Severidade 4
	Reduzido	Consolidação	Severidade 3
Erosão	Elevado	Reparação localizada	Severidade 2
	Médio	Manutenção	Severidade 1
	Reduzido	Manutenção	Severidade 1

Tabela 2 – Critérios gerais de decisão sobre o tipo de intervenção segundo Aguiar e Veiga (2003)

Estado de conservação	Valor do Edifício	Opção de intervenção	Seleção de materiais	Seleção das técnicas	Outras exigências
Severidade 1	Elevado	Conservação e Manutenção	Compatíveis e Idênticos	Tradicionais e/ou Especializadas	Reversibilidade; Aspeto idêntico
	Reduzido	Conservação e Manutenção	Compatíveis	Regras de boa arte	Reparabilidade; Aspeto Compatível
Severidade 2	Elevado	Consolidação e/ou Reparação localizada	Compatíveis e Idênticos	Tradicionais e/ou Especializadas	Reversibilidade; Aspeto idêntico
	Reduzido	Reparação localizada e/ou substituição parcial	Compatíveis	Regras de boa arte	Reparabilidade; Aspeto Compatível
Severidade 3	Elevado	Consolidação e/ou Reparação localizada	Compatíveis e Idênticos	Tradicionais e/ou Especializadas	Reversibilidade; Aspeto idêntico
	Reduzido	Substituição parcial	Compatíveis	Regras de boa arte	Reparabilidade; Aspeto Compatível
Severidade 4	Elevado	Preenchimento de lacunas ou Substituição parcial	Compatíveis e Idênticos	Tradicionais e/ou Especializadas	Reversibilidade; Aspeto idêntico
	Reduzido	Substituição parcial ou integral	Compatíveis	Regras de boa arte	Reparabilidade; Aspeto Compatível
Severidade 5	Elevado	Substituição parcial	Compatíveis e Idênticos	Tradicionais e/ou Especializadas	Reversibilidade; Aspeto idêntico
	Reduzido	Substituição integral	Compatíveis	Regras de boa arte	Reparabilidade; Aspeto Compatível

Compatibilidade química e compatibilidade física

A calda de cal deve ser compatível quimicamente com o revestimento a ser tratado, pois caso isso não aconteça, com o passar dos anos ao ser introduzida no seu interior, irá provocar ainda mais degradações (Tavares, 2009). Os seus componentes não devem sofrer alterações ao longo do tempo, evitando assim a formação de produtos secundários prejudiciais à mistura (Vieira, 2010)

De modo a evitar fluorescências e expansões, a calda de cal deverá possuir propriedades resistentes aos sais de sulfato, assim como conter a mínimo teor de iões de sódio, potássio e álcalis (Tavares, 2009). Os parâmetros mais proeminentes a serem avaliados neste tipo de caldas são a resistência à compressão, resistência à flexão, a retração e a aderência ao material a consolidar (Tavares, 2009).

Quando a água evapora e há reações de hidratação dos aglomerados ocorre a retração da calda. No caso das caldas de cal, estas devem ter uma baixa retração de secagem. Caso contrário, pode originar problemas na argamassa, no interior de revestimento. Aconselha-se que o valor limite de contração volumétrica da calda deverá ser na ordem dos 4% (Tavares, 2009).

Resistência mecânica

A resistência mecânica (nas características dos materiais) medida “*in situ*” em muretes e reboco antigo com ensaios usados para esta avaliação permitiu verificar que as argamassas consolidadas apresentaram um aumento da resistência, sendo os valores observados para os vários consolidantes muito próximos. A resistência mecânica “em laboratório”, medida por ensaios de flexão e compressão sobre provetes (paralelepípedos), mostrou um aumento significativo (Tavares e Veiga, 2007).

Aderência

A aderência está interligada com a retração, ou seja, quanto maior é a aderência da calda de cal às partículas em contacto, menor será a retração. É possível estabelecer uma aderência máxima (reversibilidade).

O ensaio de arrancamento efetuado por estes autores (Tavares et al., 2007) demonstrou que todas as argamassas de calda de injeção possuem uma resistência semelhante à argamassa do substrato (zona sem calda de injeção). A resistência à tração da calda de injeção foi superior à força coesiva da argamassa quando se rompia pelo suporte, considerando-o negativo.

Injetabilidade

A injetabilidade traduz a capacidade de escoamento da mistura e de manter tal característica por um certo período de tempo o qual permita uma injeção fácil do elemento. Este poder de penetração da calda ou argamassa depende de numerosos fatores quer sejam as suas características intrínsecas (por exemplo a granulometria da parte sólida da mistura), quer sejam a morfologia do suporte (absorção/adsorção) e os materiais constituintes (dimensões e forma, superfície específica e módulo de finura). A máxima dimensão das partículas que constituem a calda deverá ser consideravelmente mais pequena do que a abertura dos orifícios ou diâmetro dos vazios a ser preenchido (Luso et al., 2007).

Para diminuir as heterogeneidades deve haver ausência de segregações e para diminuir a presença de vazios no estado endurecido a exsudação deve ser mínima. A quantidade de água deve ser doseada (Tavares, 2009).

Tempo de endurecimento

Trata-se do intervalo de tempo que dura o processo de endurecimento (Vieira, 2010). Durante o processo de injetabilidade é necessário que a calda de cal permaneça líquida para que o trabalho ocorra sem dificuldades. Sendo assim, é necessário que esta

apresente um tempo de trabalhabilidade razoável que, normalmente se estipula como 48 horas (Vieira, 2010).

Comportamento reológico

A importância de conhecer o comportamento reológico de uma calda de injeção em estado fresco é elevada. No estado endurecido as suas propriedades estão diretamente relacionadas. Características da calda de injeção (Tabela 4) como a retenção de água, trabalhabilidade, viscosidade, fluidez, plasticidade e influência dos vários componentes devem ser estudadas em termos reológicos (Tavares, 2009).

Em termos de comportamento reológico, as argamassas e as caldas de injeção normalmente comportam-se como um fluido de Bingham. Este tipo de comportamento é caracterizado por uma tensão de cedência e uma viscosidade plástica. O comportamento reológico foi estudado por alguns autores (Paiva et al., 2009) com um reómetro para argamassas (Viskomat PC, Schleibinger) que é capaz de quantificar discriminadamente estes fatores. O comportamento de Bingham pode ser expresso como uma relação entre o torque (T) e a velocidade de rotação (N), $T = g + hN$, onde g e h são coeficientes diretamente proporcionais à tensão de cedência e à viscosidade plástica, respetivamente.

2.2.1. Caldas de injeção

A calda de cal é basicamente constituída por cal aérea e hidráulica, areia e água. Quando estes três materiais são misturados não apresentam uma boa resposta em termos de injetabilidade e de carbonatação da cal, devido à lenta difusão do CO₂. Na Tabela 3 apresenta-se de uma forma resumida uma análise comparativa das exigências básicas da utilização e aplicação.

Tabela 3 – Exigências básicas para uma calda de injeção (Tavares, 2009)

Propriedades	Exigências
Consistência	Suficientemente fluida para injetar
Tempo de “presa”	Não menos do que 48 horas
Módulo de elasticidade	Menor que o do substrato (< 80%)
Resistência à compressão	Menor que a do substrato (< 60%)
Contração e dilatação da argamassa na secagem	O mínimo possível (< 4%)
Coefficiente de dilatação térmica	Similar ao original
Permeabilidade ao vapor de água	Preferencialmente alta
Coefficiente de capilaridade	Valor de coeficiente de capilaridade entre 50-100% do valor do substrato original
Teor de sais	Possuir o mínimo possível (a quantidade de iões de sódio e de potássio não deve ser superior a 120 mg/kg de argamassa)
Força de arrancamento Aderência	$\geq 0.1 \text{ N/mm}^2$

A fim da consolidação dos revestimentos, muitos investigadores têm estudado outras composições, adicionando aditivos, adjuvantes, diferentes tipos de ligantes e agregados. Estas adições terão de ser bem estudadas pois em contraponto podem levar a fissuras, retrações, entre outros defeitos (Tavares et al, 2008)

Baseado em estudos já existentes, os diferentes materiais que podem ser utilizados numa calda de cal são:

Ligantes

Nas caldas de injeção a cal é o ligante mais utilizado, pois deverá ser compatível com as argamassas antigas que apresentam ligantes aéreos (Tavares, 2009). Nos revestimentos mais recentes, o cimento também pode ser o ligante utilizado.

Água de amassadura

A calda de cal, como já referido, deve ser bastante fluida. Deve ser provida de bastante água, isenta de impurezas e numa proporção de 60% a 80% relativamente ao peso dos sólidos. Esta percentagem pode variar, dependendo do tipo de materiais utilizados e do tipo de suporte (Ferragni et al., 1984).

Agregados

Relativamente às caldas de injeção o agregado é muito fino, para que a calda possa penetrar em locais estreitos. Os agregados constituem cerca de 70% a 80% do volume do material.

Quando se fala de argamassas o maior constituinte é a areia. O tamanho e a distribuição granulométrica são fatores que afetam a qualidade da areia. O agregado que fica retido no peneiro com malha de 5 mm de abertura é designado por agregado grosso. O agregado com dimensões inferiores a 5 mm é designado por areia. Os materiais finos são responsáveis por uma maior tensão de cedência e uma maior viscosidade (Paiva, 2005)

Aditivos

- Pozolanas

Segundo (Velosa, 2006), as pozolanas são materiais cujas propriedades cimentíceas são poucas ou nenhuma. São considerados materiais siliciosos ou silico-aluminosos, que reagirão na presença de humidade quimicamente com álcalis e hidróxidos alcalino-terrosos originando a formação de compostos com propriedades cimentíceas.

É possível dividir as pozolanas em dois grupos, pozolanas naturais e pozolanas artificiais.

As pozolanas naturais têm origem natural, ocorrendo de fenómenos vulcânicos. Os materiais pozolânicos artificiais decorrem da calcinação de materiais naturais em condições específicas ou são provenientes de subprodutos industriais, a temperaturas específicas, induzindo a formação de sílica e alumina amorfas. Atualmente, a sua

utilização é frequentemente associada à produção de betão, como inibidores da reação alcali-sílica ou como substitutos do cimento (Velosa, 2006)

Segundo Velosa (2006), o metacaulino (pozolana artificial a ser utilizada na calda de injeção de cal aérea), é obtido através da calcinação da argila caulínica entre 650 °C e 850 °C e moagem a uma finura entre 700 m²/kg e 900 m²/kg. O metacaulino tem como componentes principais a sílica e a alumina vítreos que reagem com o hidróxido de cálcio em presença de H₂O. São produzidos, essencialmente, silicatos e aluminatos de cálcio.

Todas as propriedades em endurecido das caldas de injeção, argamassas e até betões são afetadas pela presença do metacaulino. Traduz-se geralmente em aumento da resistência mecânica à flexão e à compressão, na redução da permeabilidade, no aumento da resistência ao ataque químico, aumento da durabilidade, redução dos efeitos da reação alcali-sílica, redução da tendência para eflorescências e num melhoramento da cor e aparência dos materiais (Siddique et al., 2009; Paiva, 2014). Para além de uma reatividade pozolânica elevada, o metacaulino tem a capacidade de acelerar as reações de hidratação do cimento (Wild et al., 1996).

- Pó cerâmico

Os pós cerâmicos contêm características pozolânicas que dependem da argila usada, da finura do pó e da temperatura de cozedura dos tijolos e telhas. Estes parâmetros conferem hidraulicidade às caldas de cal (Velosa, 2006).

Ao fim de algumas experiências concluíram que as partículas de menor dimensão e obtidas de uma cozedura de temperatura inferior a 950 ° promovem um tempo de presa mais rápido, menor retração e uma maior resistência mecânica. As partículas de maiores dimensões provocam a formação de introdutores de ar e conseqüentemente uma melhor carbonatação da calda e uma maior resistência aos sais solúveis e gelo (Tavares, 2009).

Adjuvantes

O adjuvante é uma substância no estado líquido ou sólido, adicionada em baixos teores com a finalidade de alterar algumas propriedades das caldas de injeção, das argamassas e dos betões, quer no estado fresco quer no estado endurecido. A percentagem utilizada é inferior a 5% da massa total (Coutinho, 1997).

Os adjuvantes podem ser classificados de acordo com a sua ação principal (Paiva, 2005):

- Reologia das argamassas e betões frescos;
- Teor de ar de argamassas e betões;
- Presa e endurecimento;
- Expansão;
- Resistência a ações físicas;
- Resistência a ações químicas;
- Resistência a ações biológicas;
- Cor;

Na prática os adjuvantes podem apresentar vários efeitos colaterais. Estes efeitos traduzem-se em retardação de presa, como é o caso dos plastificantes ou agentes redutores de água de amassadura. O aumento da resistência ao gelo-degelo, pela formação de bolhas de ar, é obtido através da utilização de agentes introdutores de ar que têm como efeito simultâneo o aumento da trabalhabilidade do material e a diminuição da capilaridade (Coutinho, 1997; Rixom e Mailvaganam, 1999; Hewlett, 2001)

Apresentam-se de seguida três tipos de adjuvantes com forte influência na reologia, particularmente, os agentes introdutores de ar, os agentes retentores de água e os agentes redutores de água de amassadura.

- Agentes introdutores de ar

Quando se fala da ação gelo-degelo, falamos de alternâncias de temperatura acima e abaixo dos 0 °C. Esta repetição gere a fadiga dos materiais, o que pode levar à sua destruição. Estes agentes introdutores de ar visam assim aumentar a resistência e durabilidade dos materiais expostos ao gelo-degelo (Paiva, 2005). As substâncias químicas têm uma parte hidrófila da molécula bastante grande, comparada com as que se ligam ao cimento por adsorção (Coutinho, 1997).

Existem imensos produtos químicos que se constituem como agentes introdutores de ar, tais como os linhossulfonatos, a trietanolamina, o resinato de sódio, entre outros (Hewlett, 2001).

As moléculas orgânicas em meio aquoso, contendo ar que é arrastado pelos componentes da argamassa, orientam-se na interface ar-água para que o grupo hidrófilo fique em contacto com a água e a extremidade hidrófoba fora dela, ajudando na formação de bolhas de ar estáveis entre os grãos de areia e de cimento (Figura 4).

A extremidade hidrófila ioniza-se na água e, tudo se passa como se as bolhas estivessem carregadas com o mesmo sinal elétrico, repelindo-se entre si e dispersando-se na pasta. A bolha torna-se esférica, devido à tensão resultante da energia superficial da película que a limita (Coutinho, 1997; Hewlett, 2001; Rixom e Mailvaganam, 1999)

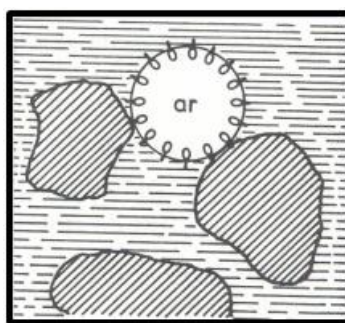


Figura 4 – A presença de introdutor de ar promove a formação de bolhas estáveis entre os grãos de cimento e agregados (Coutinho, 1997)

Quanto mais comprida a cadeia dos átomos de carbono mais estáveis são as bolhas. Esta cadeia se atingir um grande comprimento pode aumentar a viscosidade, provocando a diminuição da trabalhabilidade (Coutinho, 1997).

O ar introduzido sob a forma de bolhas funciona simultaneamente como um fluido e como um agregado. Como fluido, substitui parte da água de amassadura, pois é possível diminuir a água sem alteração da trabalhabilidade do material; como agregado, substitui parte da areia, com partículas de dimensões inferiores a 1 ou 2 mm, com a vantagem de ter melhor coeficiente de forma, ser deformável, elástico e poder melhorar a trabalhabilidade do material em fresco (Coutinho, 1997; Paiva, 2005)

- Agentes retentores de água

Segundo Seabra et al. (2007), o comportamento das argamassas pode ser modificado através da adição de agentes retentores de água. Estes agentes aumentam o desempenho das argamassas e caldas de injeção, pois para além de reter a água da mistura, aumenta a sua coesão, diminuindo a segregação dos constituintes. A resistência mecânica é uma das propriedades em estado endurecido que um agente retentor de água pode melhorar. No estado fresco estes agentes são utilizados para controlar o espessamento, a quantidade de água de amassadura e a trabalhabilidade. Este efeito espessante traduz-se num aumento de viscosidade plástica e tensão de cedência. Khayat (1998) classificou estes materiais de acordo com a sua natureza e ação física:

- Classe A: polímeros orgânicos naturais ou sintéticos solúveis em água, que aumentam a viscosidade das suspensões aquosas, entre os quais se incluem os éteres de celulose, os óxidos de polietileno e o álcool polivinílico;
- Classe B: flocculantes orgânicos solúveis em água, que adsorvem nos grãos de cimento aumentando a sua viscosidade pelo acréscimo da atração interpartículas, tais como, os co-polímeros de estireno com 22 grupos carboxílicos e as gomas naturais;
- Classe C: emulsões de vários materiais orgânicos que aumentam a interação entre partículas, das quais se destacam as emulsões acrílicas;
- Classe D: materiais inorgânicos expansíveis com a água, de elevada área superficial, que aumentam a capacidade de retenção de água, tais como, as bentonites e o fumo de sílica;

- Classe E: materiais inorgânicos de elevada área superficial, que aumentam o teor de partículas finas na pasta e conseqüentemente a tixotropia. Destacam-se, neste caso, as cinzas volantes, cal hidratada e o caulino.

- Plastificantes ou agentes redutores de água de amassadura

Com o objetivo de diminuir a quantidade de água de amassadura são utilizados agentes plastificantes ou redutores, mantendo a fluidez (Figura 5). A sua trabalhabilidade é melhorada e a sua viscosidade diminuída (Paiva, 2005).

O uso em excesso deste tipo de adjuvantes poderá por em causa as reações de hidratação da argamassa, aumentando o tempo até ao início da presa, dificultando o endurecimento deste. É necessário garantir a trabalhabilidade e para tal são utilizados superplastificantes. Têm um custo elevado e uma curta duração (Paiva, 2005).

Os agentes plastificantes mais utilizados apresentam como substâncias ativas base os linhossulfonatos, os polihidroxicarboxílicos e as resinas abiéticas alcalinas. Estas substâncias possuem moléculas longas com uma extremidade hidrófila, formada por grupos hidrocarboxílicos, por sais destes ácidos, como os carboxilatos de sódio, cálcio ou outros, por grupos do ácido sulfónico ou por sais destes ácidos tais como os sulfonatos de sódio (Paiva, 2005). A eficiência dos plastificantes, redutores de água de amassadura, é determinada pela composição química do cimento, em particular pelo teor em aluminato tricálcico, considerando-se tanto menos eficaz quanto menor o teor de aluminato tricálcico no cimento usado na argamassa. O aumento do teor de plastificante pode impedir as reações de hidratação do cimento e comprometer o endurecimento (Paiva, 2005).

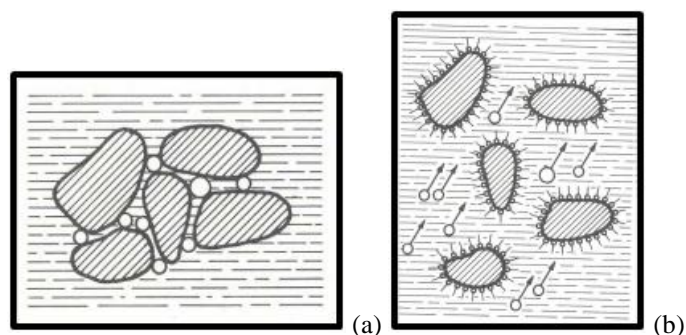


Figura 5 – Aglomeração de partículas de cimento com ar aprisionado numa argamassa sem adjuvante; (b) Na presença de adjuvante (agente plastificante) as partículas de cimento estão dispersas permitindo libertação do ar (Coutinho, 1997)

Existe uma nova classe de adjuvantes nesta categoria, denominados de “superplastificantes”, que permitem fluidificar com menores teores os materiais cimentícios ou aumentar a sua resistência, e ainda serem usados em dosagens maiores sem inibir as reações de hidratação. Com estes materiais não há distinção na adsorção pelos componentes principais do cimento e a sua capacidade de dispersão é superior, permitindo reduzir muito a relação água/cimento para trabalhabilidades iguais, sem influência sobre o processo de hidratação. O problema destes materiais, para além do seu custo mais elevados, pois são sintéticos, é o facto de que embora o seu efeito como fluidificante seja muito intenso ele desaparece ao fim de pouco tempo (cerca de 30 minutos), sendo necessário proceder a novas adições (Paiva, 2005).

2.2.2. Técnicas de aplicação de caldas de cal

Diagnóstico de degradação

Todas as zonas com perda de aderência devem ser localizadas através de ensaios de diagnóstico, utilizando ferramentas como os ultrassons, termografia, esclerómetro de pêndulo, entre outros. Deverá haver um registo onde se inclua fotografias, gráficos e indicação escrita da profundidade, extensão e morfologia das zonas afetadas (Tavares, 2009).

Tratamento prévio

Quando surgir no revestimento uma zona com perda de coesão e perda de aderência, ao mesmo tempo, é necessário consolidar a perda de coesão primeiro e só depois a perda de aderência (Tavares, 2009).

Proteção de revestimento

Por vezes a queda de partes destacadas é iminente e, quando isto acontece, é necessário utilizar papéis ou tecidos juntamente com adesivos para proteger o revestimento existente antes de ser utilizado a calda de injeção (Tavares, 2009).

Limpeza de vazios

Todos os vazios devem ser limpos antes de qualquer injeção. A fim de eliminar as impurezas e melhorar a aderência da calda de injeção, em todas as zonas com lacunas, fissuras e fendas deveram ser limpos com trinchas de pelo macio, “peras” de borracha ou um aspirador manual de baixa pressão (Tavares, 2009).

Selagem de fissuras, fendas e lacunas e abertura de orifícios

Antes da aplicação da calda de cal, deve fazer-se uma selagem das fissuras existentes, de forma a evitar possíveis perdas de material e manchas sobre o revestimento. Caso os orifícios sejam de pequenas dimensões, é usual a utilização de algodão seco; se forem de dimensões maiores pode-se utilizar um material que posteriormente é retirado, por exemplo uma argamassa fraca (constituída por areia e cal) (Tavares, 2009).

A abertura de orifícios efetua-se quando não existam aberturas naturais nos revestimentos que são necessários reparar. A disposição, tamanho e quantidade de furos dependem da espessura, morfologia e estado de degradação do revestimento. Devem ser realizados ao longo das fissuras e com inclinação com o intuito de um melhor preenchimento dos espaços vazios (Figura 6) (Vieira, 2010).

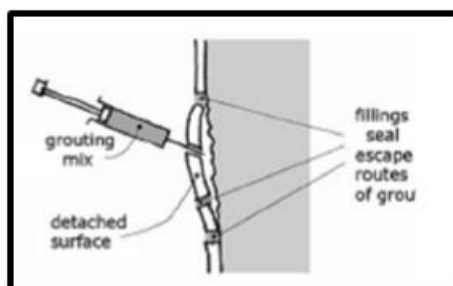


Figura 6 - Esquema sobre aplicação de calda de injeção (adaptado de Mitronatsios et al., 2010)

Os orifícios efetuados devem ser de tamanhos pequenos, com cerca de 2 a 3 mm de diâmetro, podendo estes ser ajustados consoante o grau de degradação do revestimento. Por outro lado, os furos poderão ser realizados por metro quadrado, numa média de 2 a 4 furos, variando em profundidade de $2/3$ a $1/2$ da espessura da parede (Tavares, 2009).

Humedecimento de vazios

Geralmente as caldas de injeção são utilizadas em edifícios antigos, com estruturas de adobe. Estas estruturas têm tendência a serem muito porosas. Para que não haja uma absorção excessiva de água da calda de cal, é necessário humedecer toda a superfície. Esta injeção deverá ser uma solução de água e álcool na proporção de 1:1. Esta solução deverá ser injetada até aparecer marcas de humidade à superfície (Tavares, 2009).

Outras considerações na aplicação de caldas de injeção

Constatou-se que a perda de aderência, a perda de coesão e o uso inadequado de tintas incompatíveis com o revestimento antigo de cal, afetam a maioria dos edifícios antigos necessitando de uma correta abordagem científica para o seu tratamento (Tavares, 2009). A técnica da consolidação é um dos mais importantes métodos empregues para a preservação destes revestimentos. Neste trabalho desenvolveram-se estudos sobre pinturas compatíveis com o edifício antigo, e sobre a consolidação da perda de coesão e de aderência, através de materiais compatíveis com os originais. O estudo para a pintura de edifícios antigos é realizado através de ensaios com diferentes tipos de tintas com base em

cal e silicato; para a perda de coesão realizam-se ensaios com diferentes tipos de consolidantes (água de cal; água de cal aditivada; consolidante biológico, silicato de etilo e copolímero acrílico). Para a perda da aderência realizam-se ensaios em laboratório e *in situ* com diferentes argamassas para calda de injeção.

A pressão utilizada para enchimento dos moldes de 1,0 - 3,5 bar deverá ser constante recorrendo se possível à utilização de um equipamento adequado para o efeito denominado correntemente por “*pressure pot*” (Figura 7). A pressão utilizada não deve ser excedida para não danificar os elementos construtivos, que em geral se encontram débeis, de forma a melhorar as suas propriedades mecânicas e a durabilidade da intervenção, mas sem criar efeitos não desejáveis (Luso et al., 2007). A zona tratada deve ser pressionada durante e após a injeção da calda (Figura 8), para que o líquido seja distribuído uniformemente por toda ela. O objetivo é que a cal penetre eficazmente havendo uma maior aderência (Tavares, 2009).



Figura 7 – Equipamento de injeção “*pressure pot*”
(Luso, 2007)



Figura 8 – Técnica de aplicação da calda de injeção
(Tavares, 2009)

Capítulo 3

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3. Metodologia experimental

3.1. Materiais e Ensaio Preliminares

3.1.1. Formulações preliminares

As composições iniciais das caldas de injeção usadas envolveram cal aérea e cal hidráulica, CAP_1 e CH_1 respectivamente, e tinham ainda como outros componentes farinha de sílica, metacaulino e 60% de água (Tabela 4).

Tabela 4 – Composição das caldas de injeção iniciais

Referência	Componentes	Denominação comercial	Teor (%)	Função
CAP_1	Cal aérea	Lusical (99% pura)	10	Ligante
	Farinha sílica	SS-160 Sifucel-silicas, SA	80	Agregado
	Metacaulino	Argical 1000	10	Pozolana
	Água	-	60	-
CH_1	Cal hidráulica	NHL 5	25	Ligante
	Farinha sílica	SS-160 Sifucel-silicas, SA	75	Agregado
	Água	-	60	-

Ao formular as caldas de injeção foi tido em conta a base, tijolo revestido com argamassa de cal aérea envelhecida (com três anos) e os seus componentes para que estas fossem compatíveis química, física e mecanicamente com a argamassa de suporte. Foram sobretudo usadas para os primeiros testes de injetabilidade.

O metacaulino é um aditivo pozolânico usado na composição da calda com cal aérea, tendo sido introduzido nesta composição a fim de melhorar o comportamento mecânico da calda de injeção. Este efeito benéfico deve-se principalmente à elevada reatividade pozolânica do metacaulino que, por um lado, reage rápida e extensamente com o hidróxido de cálcio resultante da hidratação do cimento e, por outro lado, acelera a reação de hidratação do cimento (Paiva et al., 2012). Da reação do metacaulino com o hidróxido de cálcio formam-se materiais “cimentíceos” adicionais. Verifica-se ainda que

esta diminuição do teor em hidróxido de cálcio implica uma melhoria na resistência ao ataque químico e às reações alcali-sílica. O silicato de cálcio hidratado formado encontra-se na forma de um gel que penetra nos poros promovendo uma alteração da porosidade devido à diminuição do tamanho médio de poros e ao aumento da quantidade de poros menores. Este efeito é observado também na zona de transição interfacial entre o ligante e o agregado, verificando-se assim uma densificação. O refinamento dos poros e a densificação da zona de transição interfacial permitem justificar as melhorias na resistência mecânica, a diminuição da absorção de água por ascensão capilar, o melhoramento da resistência ao ataque químico e o aumento da durabilidade (Poon et al., 2006).

A calda de injeção com cal hidráulica não continha nenhum aditivo nem adjuvante, apenas o ligante, agregado e água (Tabela 4).

3.1.2. Desenvolvimento do teste de injetabilidade

Tavares (2009) desenvolveu um método no Laboratório Nacional de Engenharia Civil para a introdução da calda de injeção no interior dos revestimentos aplicados sobre um tijolo (Figura 9) mas este não permitia a visualização do escoamento e do preenchimento de todos os espaços vazios. O orifício para injeção da calda era bastante grande, promovendo uma camada de injeção muito espessa, muito diferente da realidade verificada nas fachadas dos edifícios degradados.



Figura 9 – Provetes simulando descolamento entre camadas (Tavares et al., 2007)

As amostras de tijolo rebocado com base na metodologia de Tavares (2009) apresentavam um tempo de cura longo em sala com ambiente condicionado, 20 ± 5 °C e 60

$\pm 5\%$ de humidade relativa (HR). Parte das amostras de tijolo apresentavam zonas em que a argamassa de reboco se tinha destacado completamente.

Um novo teste foi criado neste trabalho para possibilitar a avaliação da fluidez das caldas de injeção em estado fresco. O principal objetivo deste método foi conseguir visualizar o escoamento e a fluidez das caldas de injeção tal como o preenchimento dos espaços vazios, que tentavam simular o empolamento dos revestimentos antigos. Esta nova metodologia implica “escavar” canais pouco profundos (cerca de 3 mm) sobre a argamassa colocada sobre o tijolo. Após a produção dos canais colocou-se um acrílico por cima de modo a permitir a observação do comportamento na injeção das caldas. Este acrílico é colado de forma a tapar todos os canais abertos.

As características físicas e mecânicas da argamassa base que iam cobrir os tijolos foram avaliadas. Contudo, o principal objetivo deste ponto era perceber como é que as formulações iniciais das caldas de injeção se iriam comportar ao escorrimento e à aderência sobre estas argamassas de suporte.

O ensaio desenvolvido neste trabalho para avaliar a injetabilidade das caldas atrás formuladas consistiu em utilizar tijolos revestidos com argamassa de cal aérea antiga (3 anos) e escavar sobre esta argamassa canais (Figuras 10 e 11) imitando assim o interior dos revestimentos antigos. No fim deste processo foi colocado um acrílico, de forma a cobrir toda a área que foi escavada com o objetivo de observar o escoamento das caldas de injeção iniciais (Figura 11).



Figura 10 – Tijolo com alguns canais



Figura 11 – Tijolo com canais e com o acrílico colado

Antes de se introduzir a calda de injeção, toda a área foi molhada para que, quando a calda de injeção estivesse a ser colocado a água do calda de injeção não fosse absorvida de imediato pela argamassa, como é possível observar na Figura 12.



Figura 12 – Argamassa com molhagem antes da injeção da calda de injeção

Para introduzir a calda de injeção foi utilizado uma seringa com dimensões adequadas (Figura 13). A calda de cal deve ser injetada de forma lenta e constante de forma a não criar bolhas de ar, devendo também ser realizada numa altura inferior a 1 metro/dia para que as pressões hidrostáticas das caldas não danifiquem a estrutura (Luso et al., 2007; Tavares, 2009). Este método foi criado neste trabalho para que, em termos visuais, fosse possível observar o escoamento e a fluidez das caldas de injeção.



Figura 13 – Introdução da calda de injeção com uma seringa com as dimensões adequadas

Para além do ensaio de visualização do escoamento e fluidez das caldas de injeção iniciais, estas caldas também foram utilizadas para “colar” as zonas de argamassa destacadas de revestimentos antigos existentes no laboratório e provenientes de trabalhos anteriores.

Para além das argamassas de suporte antigas (3 anos) foram preparadas argamassas de reboco preparadas de forma distinta para este ensaio, tendo também sido revestidos uma série de tijolos. Estes tijolos foram revestidos com 2 composições diferentes de argamassa, denominadas por AR e AM. Estas novas argamassas de revestimento ou reboco dos tijolos foram também escavadas para serem colocadas sobre elas o acrílico, como anteriormente.

A argamassa de suporte ou reboco AR é de cal aérea. Esta argamassa tem como materiais a areia (fração <4 mm), cal aérea (Lusical) e água. A composição desta argamassa tem a % de água de amassadura determinada relativamente ao peso total de sólidos. A Tabela 5 apresenta os componentes e respetivas percentagens da argamassa AR.

Tabela 5 – Composição da argamassa de reboco AR

Referência	Materiais	Teor (%)
AR	Areia < 4 mm	80
	Cal aérea Lusical	20
	H ₂ O	19

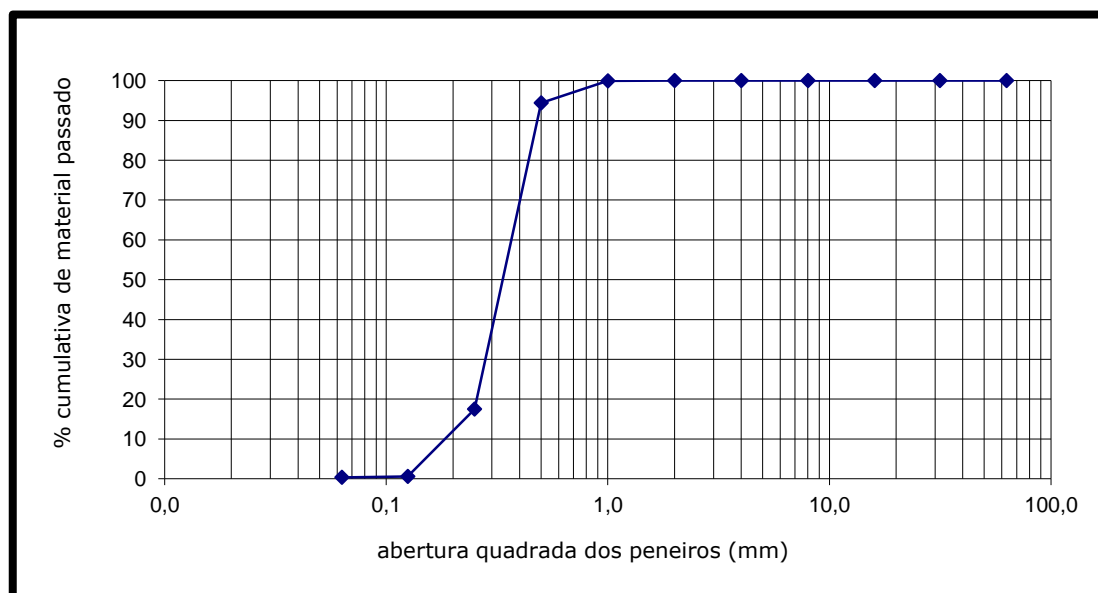


Figura 14 – Distribuição granulométrica da areia da argamassa de suporte, AR

A argamassa de suporte AM é também uma argamassa de cal aérea mas com diferentes teores de cada componente e uma areia mais grossa para criar uma microestrutura diferente. Esta argamassa tem como matérias-primas areia siliciosa, cal

aérea (Lusical) e água. A Tabela 6 apresenta os componentes e respectivas percentagens da argamassa AM.

Tabela 6 – Composição da argamassa de reboco AM

Referência	Materiais	Teor (%)
AM	Areia	85
	Cal aérea	15
	H ₂ O	22

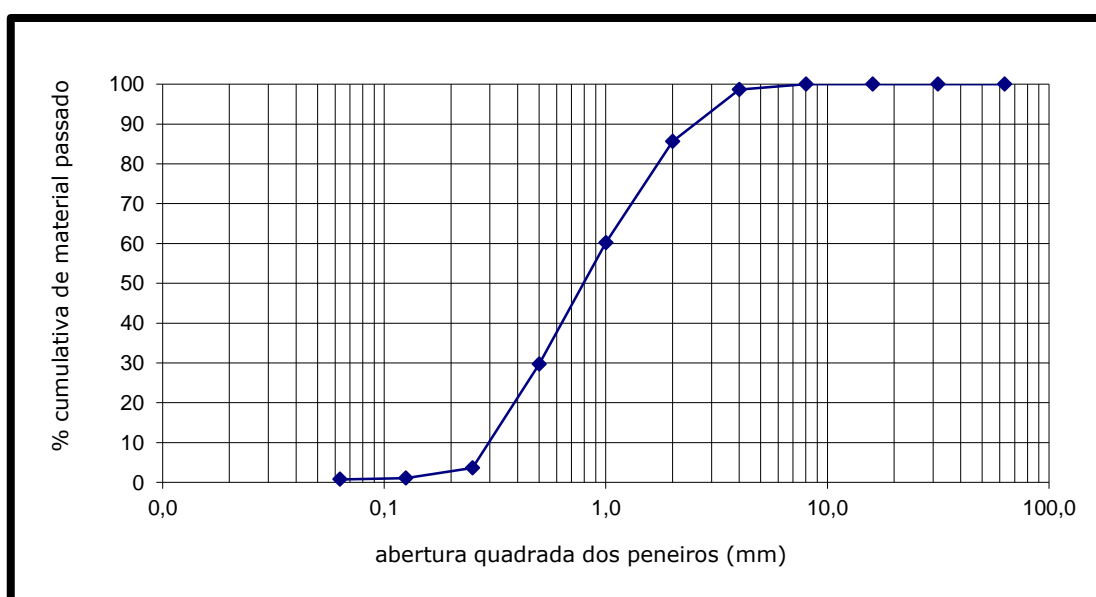


Figura 15 – Distribuição granulométrica da areia da argamassa de suporte, AM

Estas novas argamassas foram preparadas (Figura 16) porque quando se desenvolvem argamassas compatíveis com as tradicionais, utilizando matérias-primas atuais, normalmente as suas características de resistência mecânica são inferiores às apresentadas pelas argamassas antigas. Estes dois comportamentos acontecem porque se comparam argamassas de cal com existências antigas com argamassas com dias ou meses de idade. Contudo, as argamassas de cal aérea têm sido consideradas como as mais adequadas para a recuperação e reabilitação de edifícios antigos pois apresentam propriedades mecânicas compatíveis às apresentadas pelas estruturas antigas e conseguem

acomodar as tensões promovidas por alterações de temperatura ou de outra natureza (Paiva, 2007).



Figura 16 - Esquema de preparação das argamassas de suporte AR e AM

3.2. Caldas de injeção com comportamento em fresco retificado

As novas caldas de injeção apresentam características semelhantes às anteriores pois são caldas de injeção de cal aérea e hidráulica, bastante fluidas com teores de água elevados. Contudo, ambas as novas formulações de caldas de injeção com cal aérea e com cal hidráulica apresentam algumas alterações ajustadas através de ensaios reológicos.

A calda de injeção de cal hidráulica inclui um novo componente, um adjuvante agente retentor de água, o éter de celulose (Walocel MK), um derivado do metilhidroxipropilo de celulose (MHPC). Este componente é um retentor de água que tem como principal finalidade o aumento da coesão entre os materiais impedindo a sedimentação no fundo do recipiente (Tabela 7). No entanto, como este adjuvante é um retentor de água pode verificar-se um espessamento do sistema sendo também necessário aumentar o teor em água de amassadura. A Tabela 7 apresenta as composições das caldas de injeção adotadas após o ajustamento que se mostrará no capítulo seguinte.

Tabela 7 – Composição das novas caldas de injeção

Calda de injeção					
Calda de cal aérea			Calda de cal hidráulica		
Referência	Materiais	Teor (%)	Referência	Materiais	Teor (%)
CAP_2	Areia	85	CH_2	Areia	75
	Cal aérea	7,5		Cal hidráulica	25
	Metacaulino	7,5		Éter de celulose	0,1
	Água	70		Água	60

3.3. Caracterização reológica das caldas de injeção

Segundo alguns autores (Vieira, 2010; Paiva, 2005), devem ser estudadas no âmbito da reologia características tais como a viscosidade, tensão de cedência, fluidez, plasticidade, trabalhabilidade em função dos vários componentes na formulação. A análise do comportamento reológico das caldas de cal é importante para conhecer o seu desempenho no estado fresco, pois este vai influenciar as propriedades no estado endurecido.

Para a realização do ensaio reológico é necessário preparar previamente as composições das caldas de injeção. Primeiro é necessário preparar a mistura sólida e só depois de bem misturada, juntar a água. Esta mistura é feita manualmente num recipiente com a ajuda de uma espátula, sendo, posteriormente, colocada na misturadora (Figura 17) durante 30 segundos a uma velocidade baixa seguidos de mais 60 segundos a velocidade superior.

A caracterização reológica das caldas de injeção foi efetuada através da utilização de um reómetro específico para argamassas (Viskomat NT) (Figura 18).



Figura 17 – Mistura dos materiais sólidos com a água na misturadora



Figura 18 – Reómetro utilizado na avaliação reológica de argamassas (Viskomat NT)

O ensaio reológico pretendeu avaliar e ajustar o desempenho em fresco das caldas de injeção. Este reómetro foi idealizado para que fosse possível analisar o comportamento reológico nas argamassas, pois permite-nos relacionar o fluxo e a deformação de argamassas ou das caldas de injeção. Após a mistura estar corretamente preparada e misturada esta é colocada num recipiente cilíndrico, montado num suporte com velocidade de rotação variável. Uma pá concêntrica de geometria adequada está montada numa cabeça que mede o torque (Figura 19). À medida que o copo roda, a resistência viscosa que a calda de injeção oferece ao fluxo através das lâminas da pá origina um torque que é medido e registado eletronicamente ao longo de toda a duração do ensaio (Paiva, 2005).

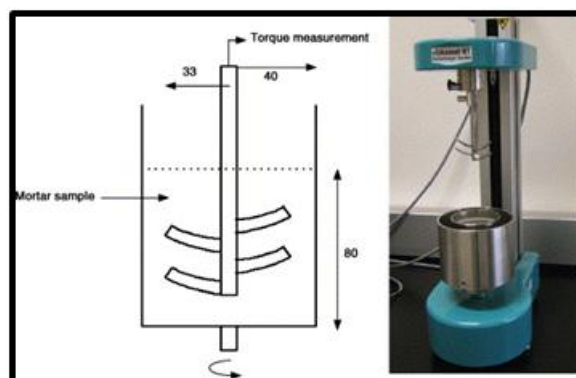


Figura 19 - Detalhes do reómetro (Viskomat PC) para argamassas e caldas de injeção

Neste ensaio, o perfil de velocidade de corte definido é tal que o copo é mantido a 100 rpm durante 60 minutos, efetuando descidas periódicas da velocidade de rotação de 15 em 15 minutos, de 100 rpm até 0 rpm, aumentando de seguida até às 100 rpm iniciais.

Nestas zonas de variação de velocidade podem construir-se as curvas de fluxo, que representam a variação do torque em função da velocidade de rotação, a partir das quais é possível determinar coeficientes proporcionais à viscosidade plástica (h) e à tensão de cedência (g) através do declive da reta e da ordenada na origem, respetivamente, considerando tratar-se de um comportamento Binghamiano típico (Figura 20) definido por $T=g+hN$ (Paiva et al., 2007).

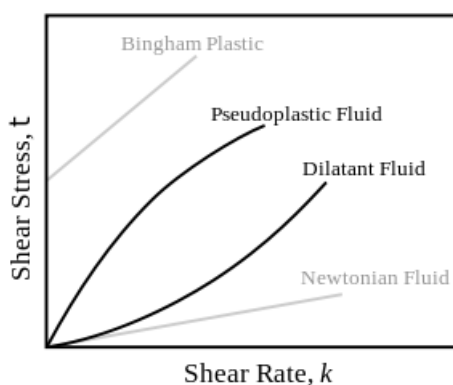


Figura 20 – Curvas de fluxo para fluidos ideais

3.4. Ensaio de caracterização das argamassas de reboco

3.4.1. Determinação da resistência mecânica dos rebocos

Neste estudo apenas se efetuaram medidas de resistência mecânicas às argamassas utilizadas no reboco de tijolos para as caracterizar. Foram produzidas amostras (provetes) com dimensões $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$. Estas amostras foram colocadas numa sala de ambiente controlado, $25 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5 \text{ \% HR}$ onde permaneceram durante 28 dias (Figura 21).

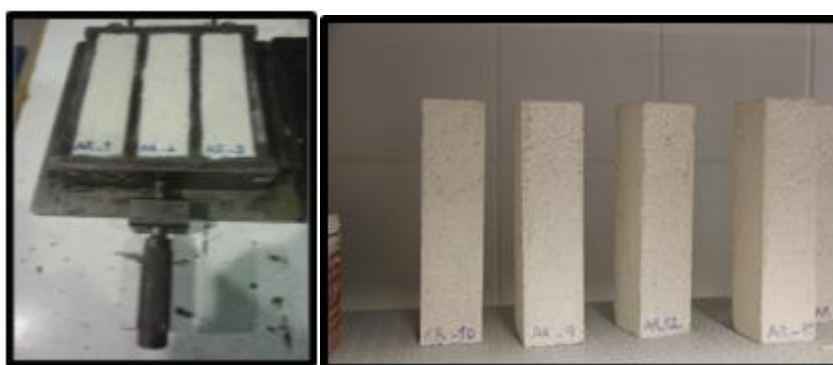


Figura 21 – Provetes prismáticos das argamassas AR e AM

Os provetes foram ensaiados à resistência mecânica por flexão e à compressão (Figura 22), segundo a norma EN1015-11:1999.



Figura 22 – Máquina de ensaio mecânico (à flexão e à compressão)

3.4.2. Ensaio de capilaridade dos rebocos

O ensaio de capilaridade foi realizado de acordo com a norma EN 1015-18:2002. Este ensaio traduz a velocidade de absorção de uma determinada argamassa ou calda de injeção, resultando numa quantidade de água absorvida e num coeficiente de capilaridade. Com base nas curvas de absorção de água por capilaridade, determinaram-se os coeficientes de capilaridade (C) para cada composição estudada.

O primeiro passo neste ensaio envolveu revestir com um material de suporte o fundo do recipiente e colocar água com cerca de 2 mm de altura. De seguida, foram colocados os provetes após registado o peso seco de cada provete, colocando-os sempre na vertical (Figura 23). A água vai sendo absorvida pelo provete o que leva ao aumento do seu peso. Estes valores são registados 2 em 2 minutos até aos 4 minutos de ensaio, 5 em 5 minutos até aos 20 minutos e, por fim, de 10 em 10 minutos até aos 140 minutos de ensaio.

Segundo (Veiga, 2003), os valores recomendados para o coeficiente de capilaridade das argamassas de substituição em cal, situam-se entre os 8 e os 12 $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$

Este ensaio foi realizado apenas para as argamassas de reboco AR e AM. É depois efetuado um gráfico com os valores da quantidade de água absorvida (kg/m^2) em função da raiz quadrada do tempo (\sqrt{t}). O declive do segmento de reta do gráfico durante o período

de tempo denomina-se como coeficiente de capilaridade (C). Este período de tempo é até ao provete ficar completamente saturado. O valor de C, expresso em $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$, é obtido através da equação:

$$\frac{(m)}{(A)} = C \times \sqrt{t}$$

sendo m – quantidade de água absorvida; A – área de contacto; t – tempo.



Figura 23 – Argamassa de cal aérea, AR e AM a saturar aos 28 dias

3.5. Ensaio de aderência das caldas de injeção

3.5.1. Ensaio preliminares

O ensaio de aderência teve como objetivo avaliar a capacidade de adesão das caldas de injeção. O ensaio preliminar foi efetuado em amostras de tijolo rebocado com argamassa de cal antiga (com três anos de cura), nos quais se escavaram pequenos rasgos para observar a qualidade da fluidez e escoamento das duas caldas de composição inicial. Relativamente às zonas onde se verificou descolamento relativamente à camada de chapisco no tijolo, foram também efetuadas colagens dessas zonas com ambas as composições de calda.

Todos os revestimentos são molhados e de seguida ‘colados’ com a calda de injeção como se pode observar na Figura 24, nos provetes A1 e A2 com calda de cal aérea, nos provetes B e C com calda de cal hidráulica. A capacidade de aderência da calda de injeção é avaliada através do descolamento entre argamassa e revestimento, baseando-se na norma EN 1015 – 12:2000.



Figura 24 – Processo de colagem com as caldas de injeção dos seguintes provetes A1, A2, B e C

Para a execução do ensaio de arrancamento, cola-se uma pastilha de ensaio com uma cola epóxidica sobre a área com calda de injeção, exercendo durante cerca de 5 segundos uma pressão moderada sobre a peça referida (Figura 25).



Figura 25 – Pastilha de ensaio sobre a zona com calda de injeção

De seguida ajusta-se às pastilhas o dinamómetro na máquina Universal de Ensaios (Shimadzu modelo AG-IC 100kN) como mostra a Figura 26, o que é ideal para ensaios de arrancamento em argamassas com baixas resistências como é o caso das caldas de injeção.

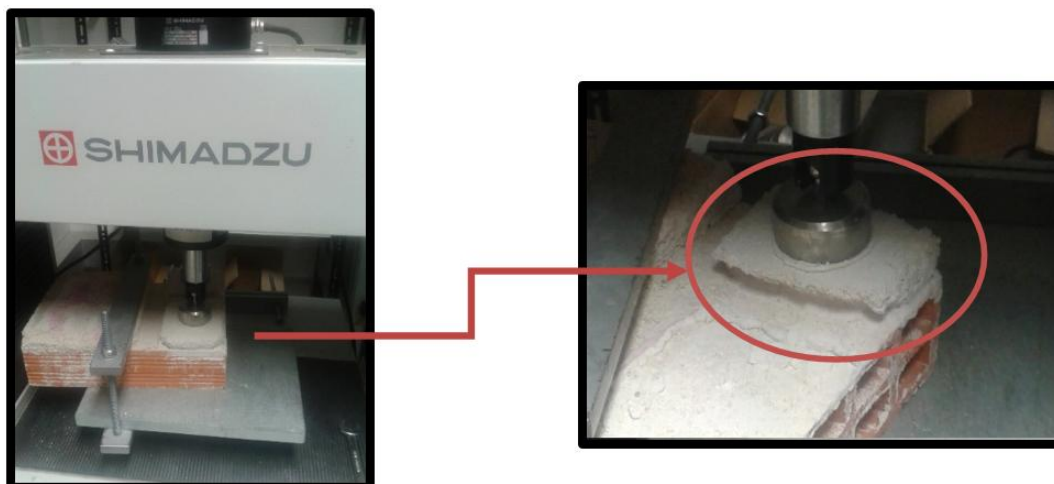


Figura 26 – Encaixe do dinamómetro na pastilha, para iniciar o ensaio de arrancamento

O indicador de escala é colocado na posição zero e inicia-se assim o ensaio.

Todos os valores de força máxima exercida e os tipos de rotura são registados automaticamente. Os provetes foram ensaiados aos 28 dias de idade, 60 dias e aos 60 dias (mais molhagem).

Este teste permitiu também analisar o tipo de rotura formada na zona da calda de injeção e reboco após o arrancamento (Figura 27).



Figura 27 – Esquema representativo do tipo de bloco em estudo, onde se descreve as diversas interfaces existente

3.5.2. Aderência das caldas de injeção com formulação ajustada

No ensaio de aderência com as novas formulações das caldas de injeção (CAP_2 e CH_2) foram utilizados provetes cilíndricos com 50 mm de diâmetro. Os provetes cilíndricos foram produzidos com as novas argamassas de reboco AR e AM.

Colam-se pares de provetes cilíndricos com as caldas de injeção (Figuras 28 e 29). Após a colagem os provetes são sujeitos a cura durante 28 dias numa sala de ambiente controlado, 25 ± 5 °C e 60 ± 5 % HR. O ensaio de aderência (Figura 30) segundo a norma EN 105-12:2000, consiste em avaliar a resistência de aderência entre a calda de injeção a argamassa.



Figura 28 – Provetes cilíndricos para utilização no ensaio de aderência

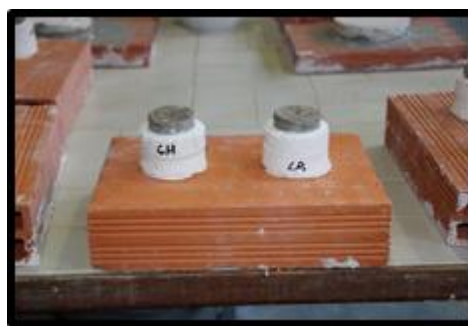


Figura 29 – Provetes cilíndricos com a pastilha já colada com a cola epóxida

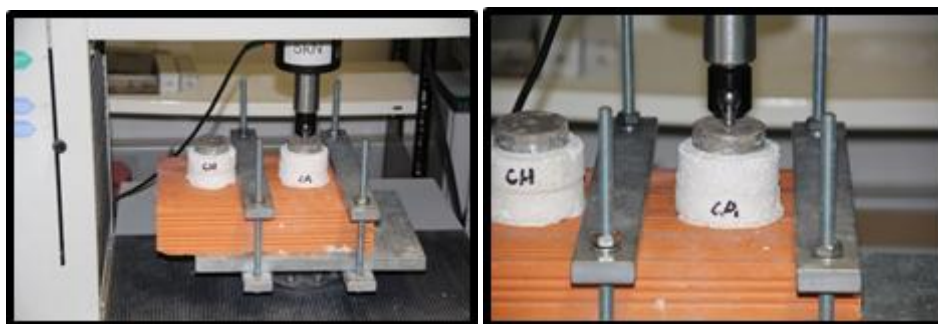


Figura 30 – Ensaio de aderência aos provetes cilíndricos

3.5.3. Aderência com caldas de injeção pulverizadas com água

No ensaio de aderência com as caldas de injeção pulverizadas com água, o procedimento é igual ao descrito anteriormente (Secção 3.5.2). Utilizaram-se, tal como anteriormente, pares de provetes cilíndricos com 50 mm de diâmetro, de composições AR

e AM, sendo usadas para a sua colagem as caldas de injeção CH_2 e CAP_2. Estas amostras foram acondicionadas numa sala de ambiente condicionado para cura durante 28 dias. No entanto, estas amostras foram pulverizadas de 4 em 4 dias durante o tempo de cura após o qual foram ensaiados (Figura 31).



Figura 31 – Provetes cilíndricos pulverizados 4 em 4 dias em toda a superfície

3.6. Ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão

Este ensaio, de acordo com o RILEM (1980), consiste em medir a quantidade de água absorvida por uma determinada superfície de reboco ou acabamento, após um período de tempo. Este ensaio utiliza um tubo graduado de 0 a 4 cm³ como mostra a figura 16. Este tubo é colado à zona que se quer estudar. De seguida é preenchido com água até aos 4 cm³, começando assim a leitura da água absorvida pelo revestimento. Estas leituras são efetuadas com base na diminuição do nível de água. A medida da permeabilidade à água por meio deste método pode ser usada para caracterizar qualitativamente o estado em que se encontra o reboco e a zona onde se injetou a calda de cal (Rilem,1980).

O objetivo deste ensaio foi avaliar a permeabilidade à água nas caldas de injeções, em provetes com 60 dias de idade, (Figura 32).

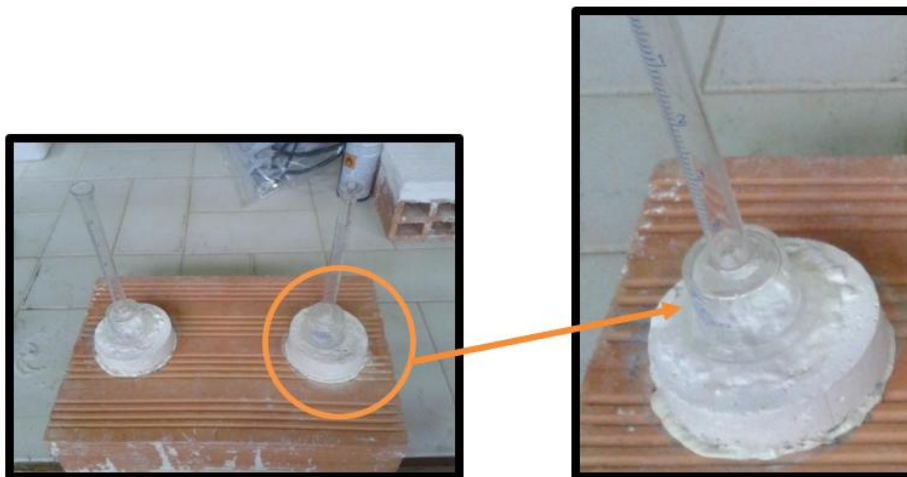


Figura 32 – Ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão (tubos de Karsten)

3.7. Ensaio de carbonatação

Este ensaio consiste em avaliar a quantidade de carbonato de cálcio que reagiu com o dióxido de carbono na amostra através de um indicador químico, a fenolftaleína. Pulveriza-se a amostra com o indicador químico e de acordo com o PH da amostra poderá observar-se uma alteração de cor. A zona exterior, com maior exposição ao ar ambiente, reage mais rapidamente com o dióxido de carbono, não mostra alteração de cor. A zona mais interior da amostra, devido à dificuldade de difusão do dióxido de carbono para o interior, apresenta alteração de cor para rosa.

A aplicação da fenolftaleína foi efetuada em duas situações. Em amostras de tijolo rebocado com as argamassas AM e AR, com canais onde as caldas CH_2 e CAP_2 foram injetadas e nas amostras cilíndricas coladas com as caldas depois de sujeitas ao ensaio de arrancamento. Neste último caso, pulveriza-se a zona onde se verificou a separação. Esta pulverização foi feita imediatamente a seguir ao ensaio de arrancamento.

De acordo com Azeiteiro (Azeiteiro, 2011) esse endurecimento ocorre devido à evaporação de água e à carbonatação por absorção do dióxido carbónico do ar, dando origem ao carbonato de cálcio (1).

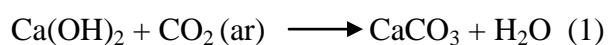




Figura 33 – Ensaio com fenolftaleína nos provetes de tijolo

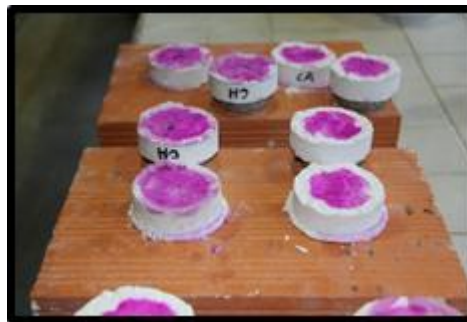


Figura 34 – Ensaio com fenolftaleína nos provetes cilíndricos

Capítulo 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4. Resultados e discussão

4.1. Ensaio preliminares das caldas de injeção

O objetivo do ensaio preliminar de escoamento das caldas de injeção era a avaliação do comportamento das caldas de composição inicial CAP_1 e CH_1 ao nível da sua fluidez e preenchimento de todos os espaços vazios. Tal como foi mencionado na metodologia experimental, este ensaio foi efetuado em tijolos rebocados com argamassas com três anos de cura nas quais foram produzidos canais. No entanto, esta calda de injeção CH_1 mostrou uma forte tendência para sedimentar tal como se pode observar no fundo do recipiente (Figura 35 e 36). A calda de injeção cuja formulação continha a cal hidráulica, CH_1, apresentou contudo uma boa fluidez e conseguiu preencher todos os espaços nos canais criados no reboco de cal aérea antiga (Figura 37 e 38).



Figura 35 – Calda de injeção de cal hidráulica num recipiente com sedimentação no fundo



Figura 36 – Pormenor da sedimentação da calda de injeção de cal hidráulica

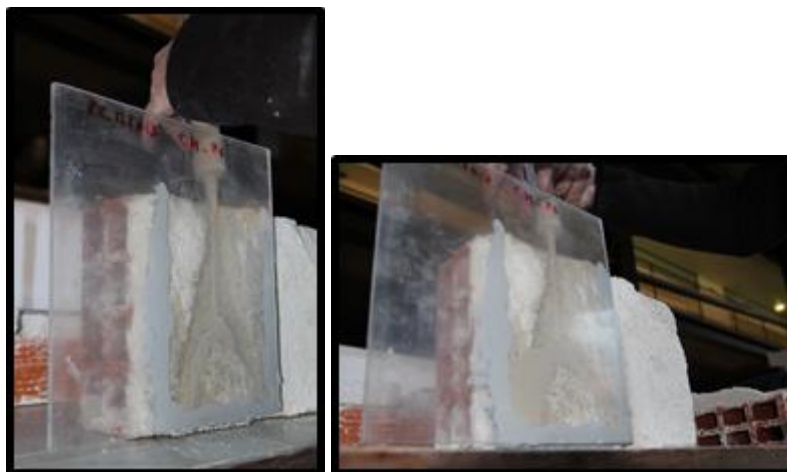


Figura 37 – Introdução da calda de injeção de cal hidráulica na argamassa de cal aérea com três anos de cura



Figura 38 – Amostra injetada com CH_1 apresenta todos os espaços preenchidos



Figura 39 – Calda de injeção de cal aérea muito espessa não conseguindo preencher todos os espaços vazios.

Relativamente à calda de injeção de cal aérea CAP_1, esta apresentou pouca fluidez e dificuldade em preencher todos os espaços da amostra (Figura 39). Só foi possível observar todo este processo graças ao novo método criado com a colocação de um acrílico transparente.

A calda de injeção de cal aérea para além de não apresentar um bom comportamento no escoamento, também mostrou uma elevada retração o que provocou fissuração acentuada da calda (Figura 40).



Figura 40 – Calda de injeção de cal aérea com fissuras após alguns minutos de secagem

Em síntese, pode-se concluir que a calda de cal hidráulica (CH_1) apresenta um bom comportamento na injeção, mostrando uma boa fluidez e a total ocupação do espaço. Contudo, esta calda de injeção apresenta o inconveniente de mostrar uma forte tendência para sedimentar. Este efeito de sedimentação deverá ser eliminado.

A calda de injeção de cal aérea com metacaulino, não mostrou um bom comportamento da injeção. Apresentava-se demasiado espessa, de forma que a sua composição deverá ser ajustada.

4.2. Ajuste do comportamento reológico das caldas de injeção.

A Figura 41 mostra o comportamento do torque com o tempo de ensaio para a calda de injeção com cal hidráulica (CH_1). A calda de cal hidráulica foi escolhida como referência para o comportamento reológico devido às características positivas observadas no ensaio preliminar. Esta calda apresentava uma boa fluidez e preenchia todos os espaços na amostra.

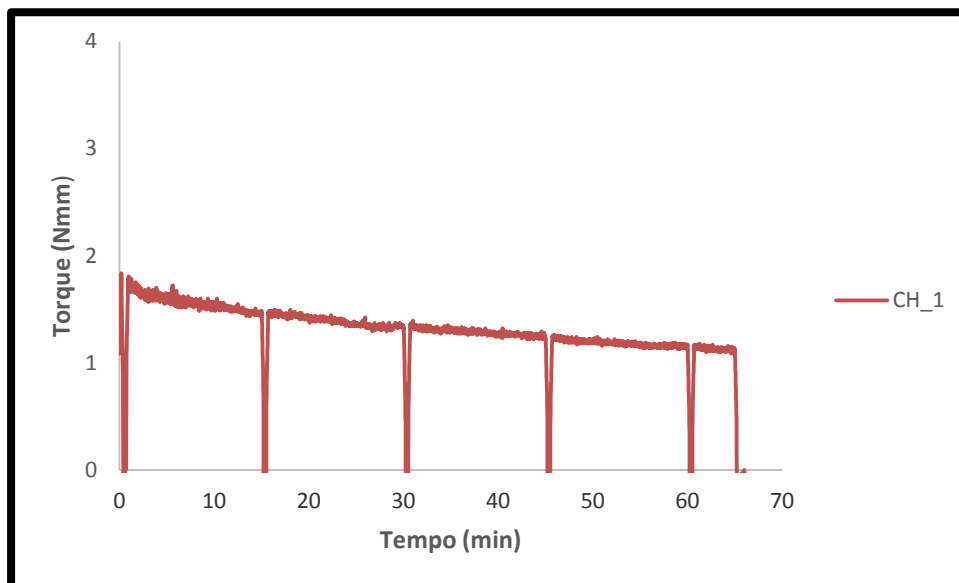


Figura 41 – Variação do torque em função do tempo de ensaio para a calda de cal hidráulica (CH_1)

As Figuras 42 e 43 mostram o comportamento dos parâmetros reológicos g e h , proporcionais à tensão de cedência e à viscosidade plástica. Também estes parâmetros serão a referência para o ajuste de composição das caldas de cal hidráulica e de cal aérea com metacaulino.

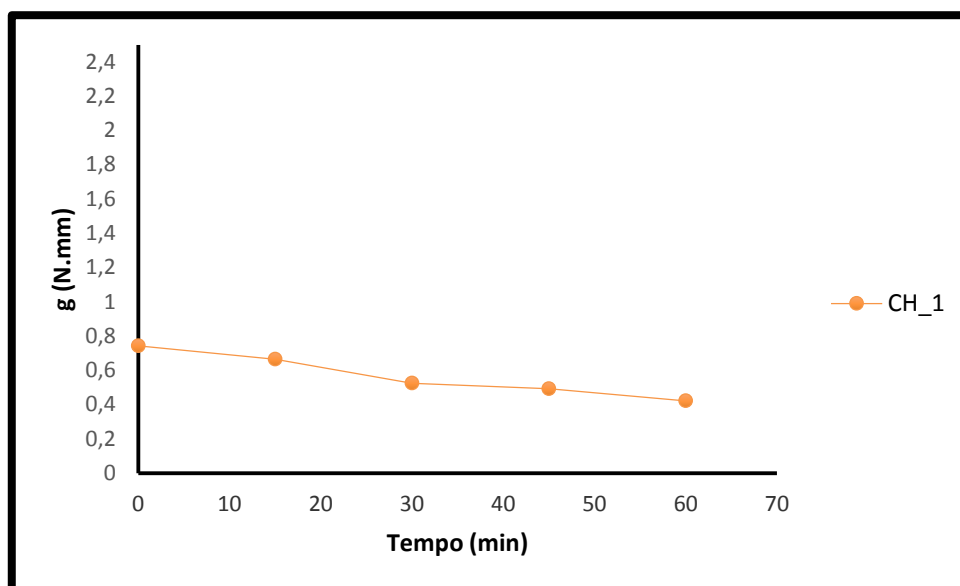


Figura 42 – Parâmetro reológico g da calda de injeção de cal hidráulica, CH_1

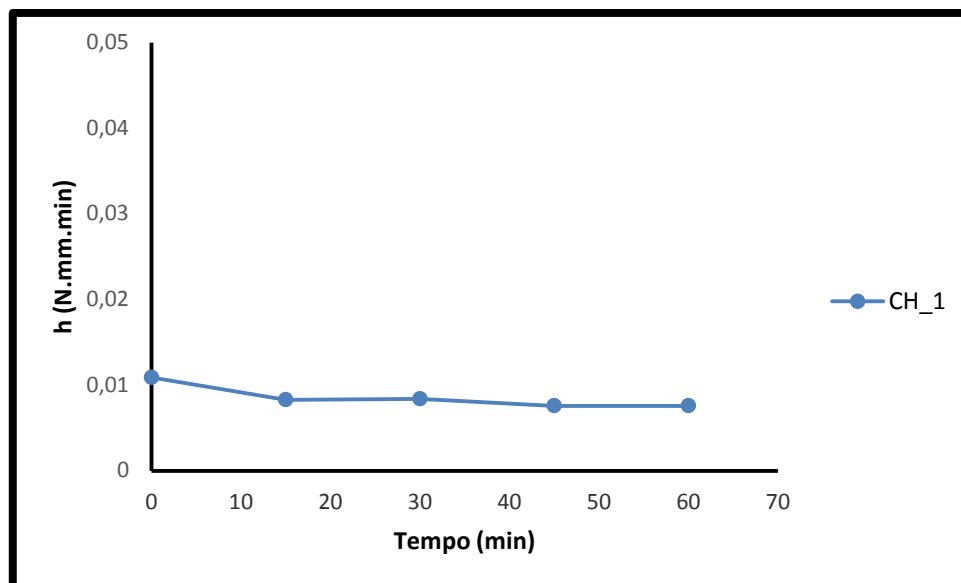


Figura 43 – Parâmetro reológico h da calda de injeção de cal hidráulica, CH_1

4.2.1. Ajuste do comportamento reológico da calda de injeção de cal hidráulica

O ajuste do comportamento em fresco da calda de cal hidráulica foi efetuado através da utilização de adjuvante, um agente retentor de água, em teores de 0,1 e 0,5%. Este adjuvante pode contribuir para aumentar a coesão entre as partículas sólidas na calda, eliminando a sedimentação. Por outro lado, como este adjuvante se liga à água esta deixa de estar livre para lubrificar o sistema, observando-se um espessamento da calda, alterando-se assim a sua fluidez.

A Figura 44 mostra o comportamento com o aumento do teor em agente retentor de água. A formulação CH_1 é a composição inicial de referência sem adjuvante, CH_2 e CH_3 são as composições com 0,1% e 0,5% de adjuvante e, como se pode observar pela Figura 47, verifica-se um aumento dos valores do torque correspondentes a uma diminuição da fluidez da calda. A composição CH_2 com 0,1% de adjuvante apresenta um comportamento reológico mais idêntico ao da calda de injeção de referência. Desta forma, o teor em agente retentor de água adotado foi de 0,1% conseguindo-se eliminar a sedimentação sem necessidade de recorrer ao aumento do teor de água.

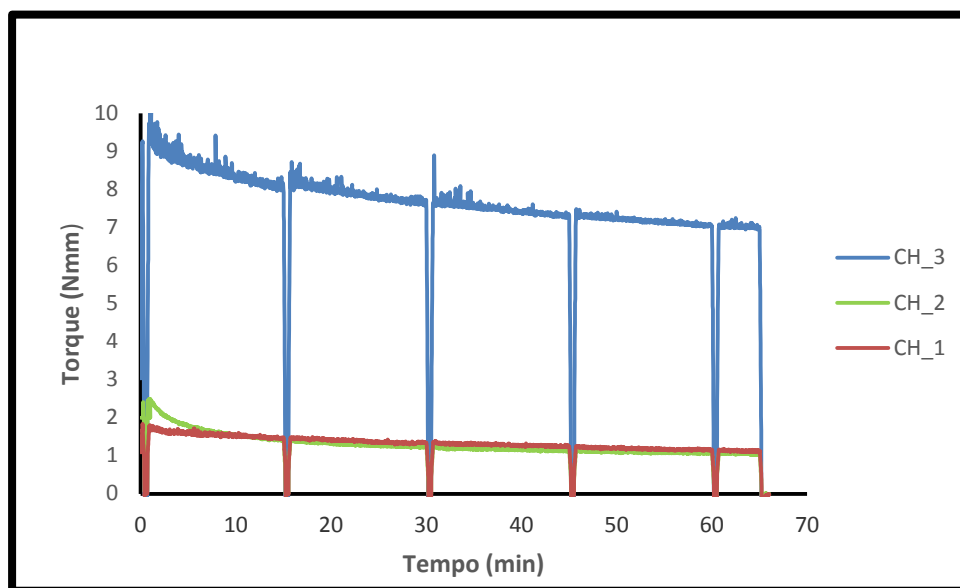


Figura 44 – Variação do torque em relação em função do teor de agente retentor de água presente nas diferentes formulações

4.2.2. Ajuste do comportamento reológico das caldas de injeção de cal aérea

A calda inicial de cal aérea (ou hidratada) com metacaulino apresentava baixa fluidez e fissuração na secagem. As pozolanas são materiais muito finos, com elevada área superficial. Devido a este facto, uma elevada quantidade de água vai adsorver à superfície das partículas, deixando de estar livre para lubrificar o sistema. A água adsorvida é a principal responsável pela retração durante a secagem e consequente fissuração (Mehta, 2005).

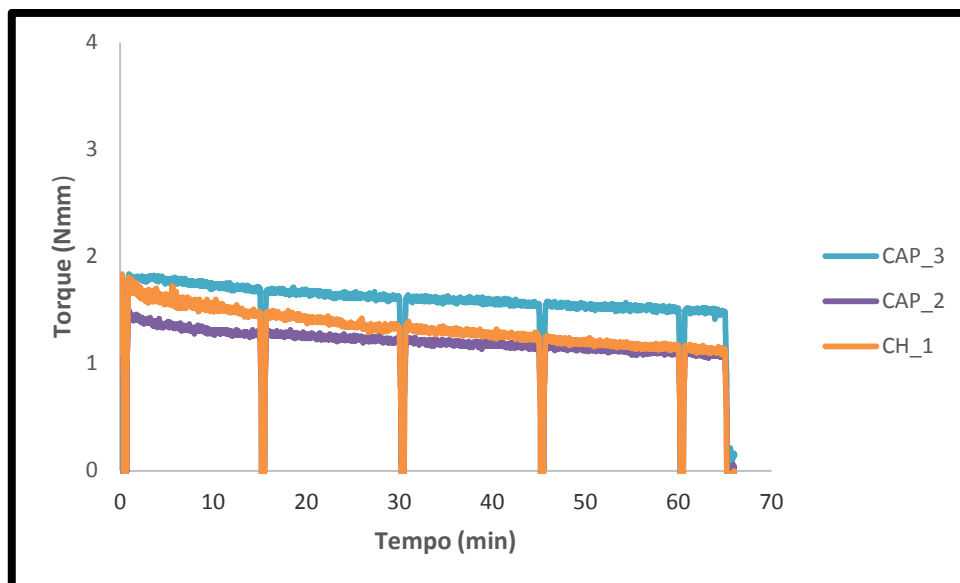


Figura 45 – Variação de torque com o tempo de ensaio, para as diferentes composições da calda de cal aérea com metacaulino.

De forma a melhorar o comportamento em fresco da calda de cal hidratada com metacaulino decidiu-se diminuir o teor em finos. A composição inicial CAP_1 tinha 10% de cimento e 10% de metacaulino. Nas novas formulações foi efetuada uma alteração desses teores. Tanto a composição CAP_2 como a composição CAP_3 têm apenas 7,5% de cimento e 7,5 % de metacaulino. No entanto, a composição CAP_2 tem 65% de água de amassadura e a formulação CAP_3 tem 70% de água de amassadura. Comparando as curvas do torque com a composição de referência CH_1 (figura 45) pode-se verificar que a composição CAP_2 mostra um comportamento mais próximo desta composição de referência (CH_1).

4.2.3. Comportamento reológico das caldas de injeção adotadas

A Figura 46 mostra o comportamento do torque em função do tempo de ensaio para as caldas de cal hidráulica e cal aérea com metacaulino, escolhidas comparativamente com a composição de referência. É possível observar que as três composições apresentam um comportamento bastante semelhante.

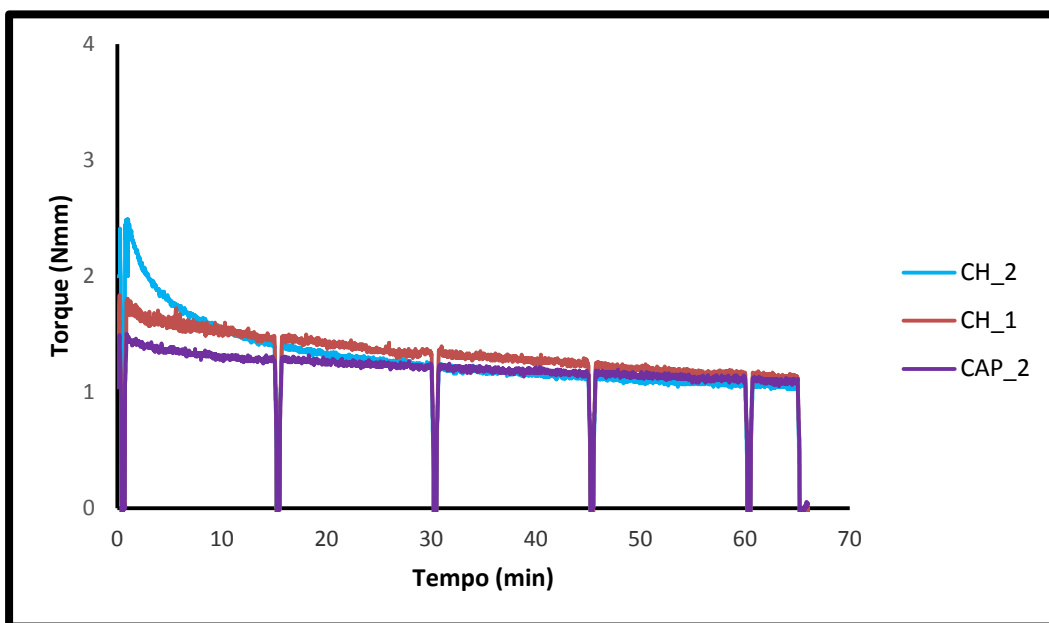


Figura 46 – Variação do torque em relação ao tempo para as composições adotadas comparativamente com a composição de referência.

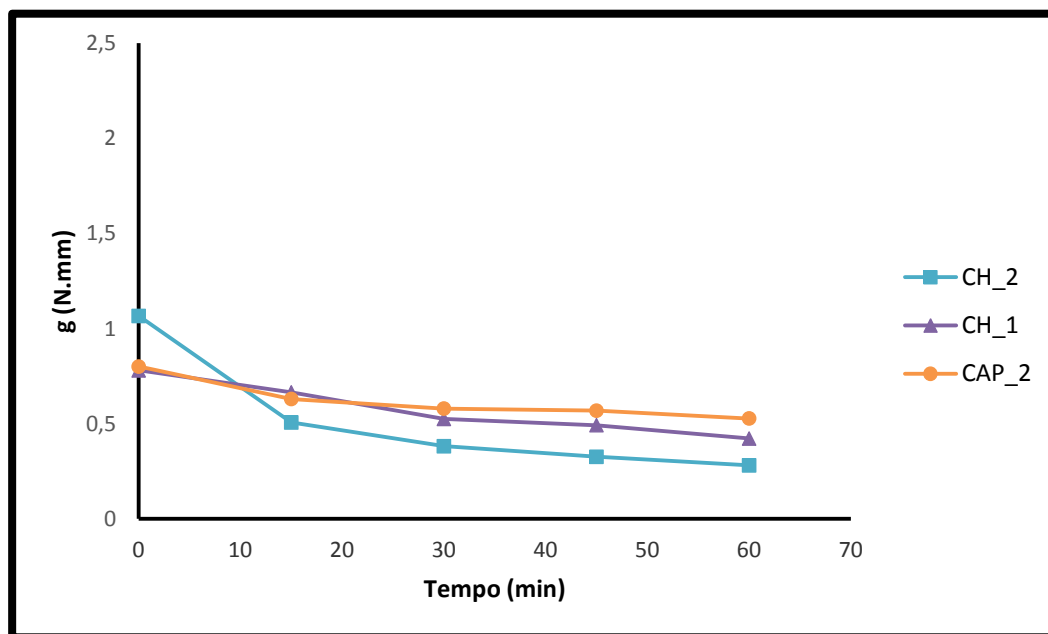


Figura 47 – Valores do parâmetro reológico g para as caldas escolhidas comparativamente com a composição de referência

A Figura 47 mostra a comparação entre o parâmetro reológico g , proporcional à tensão de cedência, da composição de referência e o das composições para as caldas de injeção escolhidas. Verifica-se que o comportamento de g para as três composições é também bastante semelhante.

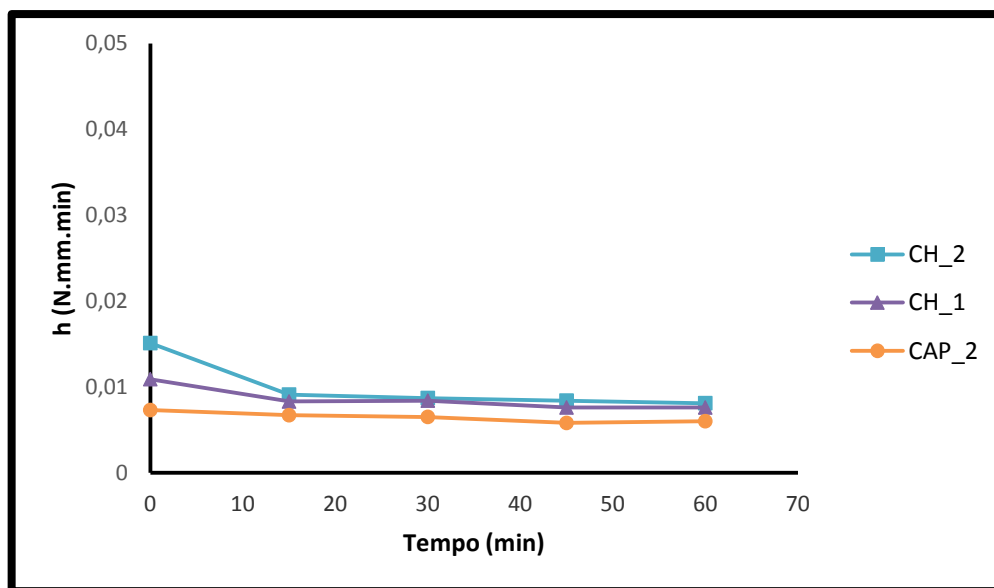


Figura 48 – valores do parâmetro reológico h para as caldas escolhidas comparativamente com a composição de referência

Relativamente ao parâmetro reológico h (Figura 48), proporcional à viscosidade plástica, também se verifica uma boa proximidade entre o comportamento de h para as composições das caldas escolhidas e a formulação de referência. Conseguiu-se assim ajustar as composições das caldas de injeção recorrendo-se à reometria.

4.3. Comportamento das argamassas de reboco

Os ensaios de resistência mecânica efetuados às amostras prismáticas das argamassas AM e AR foram executados sobre três amostras de cada composição. Desta forma, os resultados apresentados são a média dos resultados obtidos para cada formulação.

4.3.1. Resistência mecânica à flexão e compressão

A Figura 49 mostra os resultados da Resistência à flexão obtidos para as argamassas de reboco AR e AM.

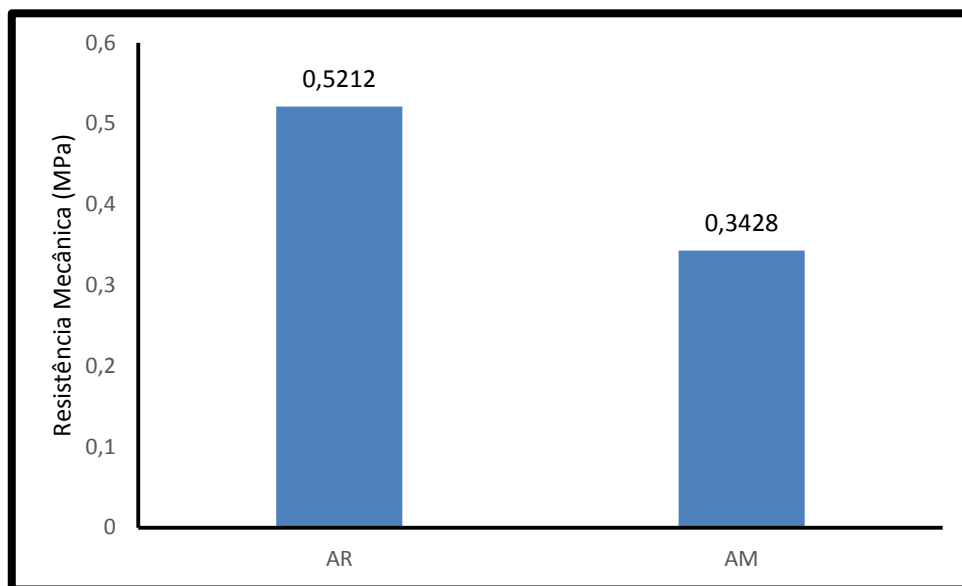


Figura 49 – Resistência mecânica à flexão das argamassas de reboco AR e AM

Embora com composições bastantes diferentes (compatíveis com os materiais antigos) ambas as argamassas apresentam valores bastante baixos, dentro do intervalo de 0,2 a e os 0,7 MPa, aceitáveis segundo a norma EN1015-11:1999.

Observando a Figura 49, é possível constatar que a resistência mecânica à flexão apresenta um valor mais elevado na composição AR (28 dias de idade) provavelmente devido à maior quantidade de ligante e à menor dimensão das partículas de areia promovendo um sistema mais denso.

A Figura 50 mostra os resultados da resistência à compressão obtidos para as argamassas de reboco AR e AM.

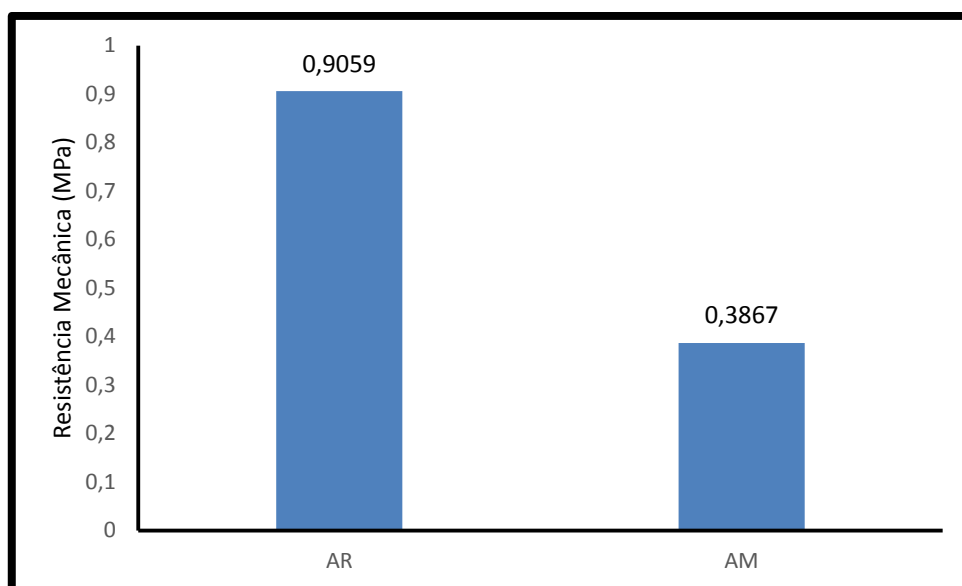


Figura 50 – Resistência mecânica à compressão

Ambas as argamassas apresentam, valores entre os 0,4 e os 2,5 MPa, aceitáveis segundo a norma EN1015-11:1999.

A análise da Figura 50 mostra que a argamassa AR mostra um valor mais elevado para a resistência à compressão comparativamente à argamassa AM. Esta diferença, tal como na resistência à flexão, pode dever-se ao teor de ligante e à distribuição granulométrica da areia.

4.3.2. Capilaridade das composições das argamassas de reboco

As Figuras 51 e 52 mostram o ensaio de capilaridade às argamassas de reboco de tijolos AR e AM.



Figura 51 – Medição do coeficiente de capilaridade de AM



Figura 52 – Medição do coeficiente de capilaridade de AR

A Figura 53 mostra as curvas de absorção capilar para as duas argamassas de reboco dos tijolos. Verifica-se que uma ligeira diferença entre o comportamento das duas argamassas. A argamassa AR apresenta uma menor velocidade de absorção de água. Este comportamento confirma os resultados observados na determinação da resistência mecânica e a maior densidade desta argamassa relativamente à argamassa AM.

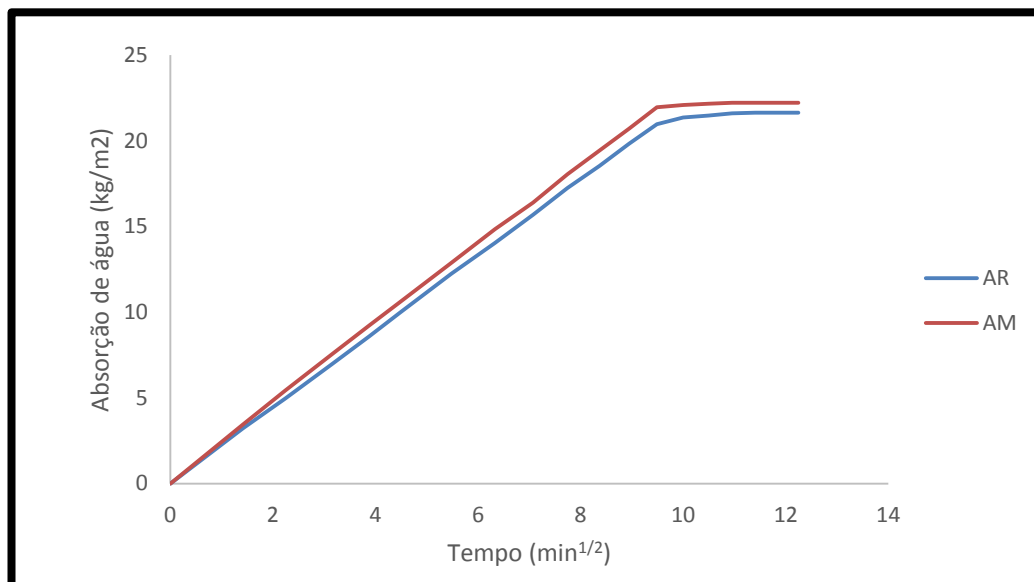


Figura 53 – Curvas de absorção de água das argamassas de reboco AR e AM

A Tabela 8 mostra os resultados obtidos para os coeficientes de capilaridade das duas argamassas.

Tabela 8 – Resultados do coeficiente de capilaridade para as argamassas AR e AM

Composição	Coefficiente de capilaridade C (Kg/ m2.min ^{1/2})
AR	17,14
AM	17,81

Todos os resultados dos ensaios efetuados às duas argamassas de reboco dos tijolos, mostram de forma sistemática que a argamassa AR apresenta maior densidade que a argamassa AM. Essa diferença é pequena mas poderá influenciar os resultados para os ensaios executados seguidamente às caldas de injeção.

4.4. Ensaios de escoamento com as novas caldas de injeção

O ensaio de escoamento das caldas de injeção adotadas tem como principal finalidade avaliar as características de escoamento das caldas de injeção e determinar a sua capacidade de preencher todos os espaços vazios.

Relativamente à calda de injeção de cal aérea e metacaulino (CAP_2), observou-se uma boa fluidez e escorrimento o que resultou do preenchimento de todos os espaços vazios do revestimento (Figura 54)



Figura 54 – Calda de injeção de cal aérea com os espaços vazios todos preenchidos

A calda de injeção de cal hidráulica, tal como a calda de cal hidratada com metacaulino, apresenta também uma boa fluidez e trabalhabilidade preenchendo todos os espaços vazios (Figuras 55 e 56).



Figura 55 – Introdução da calda de injeção de cal hidráulica



Figura 56 – Calda de injeção de cal hidráulica com os espaços vazios todos preenchidos

4.5. Ensaios de aderência

4.5.1. Ensaio preliminar

O ensaio preliminar permite medir a resistência ao arrancamento (R_a) das caldas de injeção e da argamassa de cal hidratada com três anos de cura. Utilizaram-se as composições iniciais da calda de injeção, a CAP_1 e CH_1, de cal aérea e de cal hidráulica, respetivamente. O ensaio de arrancamento foi executado sobre as partes de argamassa que se encontravam descoladas e posteriormente coladas com as caldas de formulação inicial.

Usando a máquina de ensaios universal foi possível determinar a resistência ao arrancamento e através de observação visual foi possível determinar o tipo de rotura originado nas interfaces. Logo após a rotura foi efetuado o ensaio de carbonatação com a ajuda de um indicador químico, a fenolftaleína.

A Tabela 9 apresenta os valores de resistência ao arrancamento e o tipo de rotura observados em cada amostra.

Tabela 9 – Ensaio preliminar de aderência

Amostra	Calda de injeção	Ra (N/mm ²)	Tipo de Rotura
1	CAP_1	0,00042	coesiva
2	CAP_1	0,00646	coesiva
3	CH_1	0,02600	coesiva
4	CH_1	0,01100	adesiva

As primeiras amostras (1, 2) com a calda de cal aérea e metacaulino de apresentam o mesmo tipo de rotura, uma rotura coesiva. As Figuras 57 e 58 mostram o tipo de rotura ocorrido durante o ensaio de arrancamento.



Figura 57 - Tipo de rotura coesiva das amostras 1, 2 e 3 da tabela 9

As amostras 1, 2 e 3 apresentaram rotura coesiva, o que significou que a rotura se efetuou através da calda de injeção, sendo possível observar a calda nas duas faces de

separação. Relativamente à amostra 4 com rotura adesiva, toda a calda de injeção sai junto com a argamassa de reboco (Figura 58).



Figura 58 – Rotura adesiva na amostra 4

Em relação aos valores de resistência ao arrancamento (Tabela 9) verifica-se que a calda de injeção com maior resistência ao arrancamento, aos 28 dias de cura, é a calda de cal hidráulica (CH_1), especificamente na amostra 4, com rotura adesiva.

4.5.2. Ensaio de aderência da calda de injeção com formulação ajustada

A aderência é uma propriedade importante na interação das argamassas de revestimento com o suporte, determinando o seu comportamento mecânico e durabilidade. Quanto maior a compatibilidade do revestimento com suporte, maior a aderência.

Esta propriedade está intimamente relacionada com a capacidade da argamassa absorver tensões normais ou tangenciais na superfície de interface com o suporte, ou seja, com a capacidade para resistir a deslocamentos por tração e por corte puro, sem causar danos, como sejam os destacamentos (Botelho, 2003).

A aderência das argamassas ao suporte é, deste modo, uma propriedade determinante para o seu desempenho, quando aplicada em rebocos, dado que é necessário garantir uma distribuição eficiente de tensões de modo a evitar a tendência para a fendilhação. Esta aderência não deve ser excessiva, nem superior à resistência de tração do suporte, para não levar à degradação do mesmo (Veiga, 1994; Cavaco, 2005).

Foram ensaiadas pares de amostras circulares (com 50mm de diâmetro) de argamassa de cal aérea, as quais foram “coladas” com as caldas de injeção e curadas durante 28 dias. A Figura 59, apresenta um esquema de como foram executadas as amostras.



Figura 59 – Esquema das amostras para ensaio adesão

A Tabela 10 mostra os resultados obtidos para a resistência ao arrancamento para amostras com 28 dias de cura. É possível observar resultados para ambas as caldas em ambas as argamassas de reboco.

Tabela 10 – Ensaio de resistência de arrancamento em provetes circulares com argamassa de composição AR e AM com 28 dias de cura

Argamassas de reboco	Calda de injeção	Ra (N/mm ²) (valores médios)	Tipo de rotura
AR	CAP_2	0,0010	Coesiva
	CH_2	0,0130	Adesiva
AM	CAP_2	0,0010	Coesiva
	CH_2	0,0170	Adesiva

Como se pode observar na Tabela 10, os valores apresentados de resistência à aderência são superiores para a calda de injeção de cal hidráulica, principalmente na argamassa AM que sendo mais porosa favorece a “colagem” pois maior quantidade de calda poderá penetrar nos poros.

Tabela 11 – Ensaio de resistência de arrancamento em provetes circulares com argamassa de composição AR e AM (60 dias de cura)

Argamassas de reboco	Calda de injeção	Ra (N/mm ²) (valores médios)	Tipo de rotura
AR	CAP_2	0,0020	Coesiva
	CH_2	0,0127	Adesiva
AM	CAP_2	0,0068	Coesiva
	CH_2	0,0350	Adesiva

O tipo de rotura continua a ser coesivo na calda de injeção de cal aérea e adesiva na calda de injeção de cal hidráulica o que comprova a maior resistência à tração da cal hidráulica.

A Tabela 11 mostra os resultados obtidos para a resistência ao arrancamento para amostras com 60 dias de cura. Observa-se que com o aumento do tempo de cura se verifica um aumento da resistência ao arrancamento para todas as amostras. Tal como observado nas amostras com 28 dias de cura, os valores de resistência à aderência aos 60 dias de cura, são superiores para a calda de injeção de cal hidráulica, principalmente na argamassa AM.

Tabela 12 - Ensaio de aderência, com molhagem de 4 em 4 dias (60 dias)

Argamassa de reboco	Calda de injeção	Ra(N/mm ²) (valores médios)	Tipo de rotura
AR	CAP_2	0,0186	Coesiva
	CH_2	0,0035	Adesiva
AM	CAP_2	0,0171	Coesiva
	CH_2	0,0056	Coesiva

A Tabela 12, mostra os valores de resistência ao arrancamento para amostras com argamassas AR e AM coladas com as caldas de injeção CAP_2 e CH_2, curadas durante 60 dias mas com molhagem de 4 em 4 dias durante 28 dias. Esta molhagem foi feita através da pulverização periódica de água em toda a superfície, facilitando a hidratação ou a carbonatação.

A análise da Tabela 12 mostra que os ciclos de molhagem promoveram um aumento da resistência ao arrancamento na calda de injeção CAP_2 em ambas as argamassas de reboco. Este efeito deverá ser justificado pelo aumento da reação pozolânica ou seja, uma maior quantidade de metacaulino reagiu com a cal hidratada aumentando o teor em materiais com características cimentíceas e, conseqüentemente, a resistência do material.

Em relação às amostras com a calda de injeção de cal hidráulica, observou-se o efeito contrário. As amostras apresentavam-se com bastante humidade e com difícil manuseamento. Neste caso, todo o material com características hidráulicas presente na cal hidráulica já terá reagido e o acréscimo de água não acarretou quaisquer vantagens.

As Figuras 60 a 63 mostram o tipo de rotura que existiu nos provetes circulares.



Figura 60 - Provetes circulares de cal aérea com calda de injeção de cal aérea e hidráulica com rotura coesiva



Figura 61 – Amostra circular de argamassa de cal aérea com calda de injeção de cal hidráulica, rotura adesiva



Figura 62 – Amostra circular de argamassa de cal aérea com calda de injeção de cal aérea, com rotura coesiva



Figura 63 – Tipo de rotura coesiva com a argamassa pulverizada

4.6. Ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão

O ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão foi executado com a utilização de tubos de Karsten. Os tubos de Karsten são colados à amostra a ensaiar (Figura 64). O tubo é cheio de água até aos 4 ml cronometrando-se, de seguida o tempo que a amostra a absorver cada ml. Este ensaio foi efetuado sobre as argamassas de reboco AM e AR que continham na face inferior uma camada de calda de injeção com 2 mm de espessura (CAP_2 ou CH_2).



Figura 64 – Tubos de Karsten, para o ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão

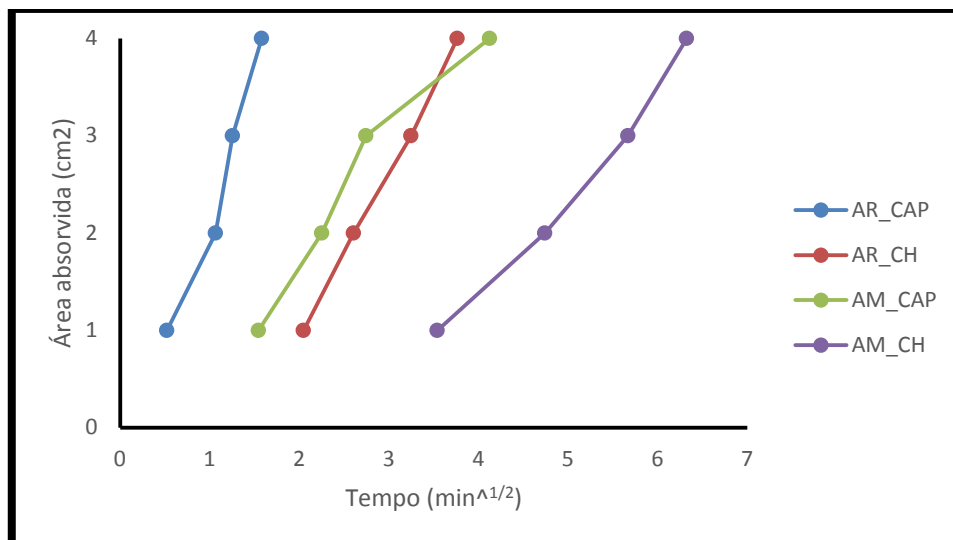


Figura 65 – Valores de absorção de água nos tubos de Karsten

A Figura 65 mostra valores de absorção mais elevados para a argamassa de reboco AM, independentemente da calda de injeção, o que confirma a sua maior porosidade capilar. Relativamente às caldas de injeção, a calda de cal hidratada co metacaulino (CAP_2) é aquela que mostra uma maior absorção, comparativamente com a calda de cal hidráulica (CH_2) justificando a maior resistência da calda de cal hidráulica.

4.7. Ensaios de carbonatação da calda de injeção

A reação de carbonatação ocorre entre o hidróxido de cálcio na cal e o CO₂ da atmosfera, na presença de água. Revela ser um fator extremamente condicionante no comportamento das argamassas de cal aérea. Este processo inicia-se quando a evaporação da água permite que o CO₂ penetre na argamassa e tenha acesso ao hidróxido de cálcio, formando novamente carbonato de cálcio (Cavaco, 2005).

A carbonatação faz com que a calda de injeção ganhe maior compacidade ao longo do tempo, aumentando assim a resistência mecânica. A porosidade da calda de injeção é um fator preponderante para a carbonatação, uma vez que, uma porosidade mais elevada promove maiores velocidades de reação, já que facilita a difusão do CO₂ pela estrutura interna da calda de injeção. A resistência mecânica e a compacidade são assim aumentadas. São também fatores condicionantes a espessura da camada, a temperatura a que ocorre o processo e o teor de água usado na amassadura. A carbonatação, como já foi

referido, processa-se com a redução do volume dos poros, devido ao incremento de cristais de carbonato de cálcio na sua estrutura interna.

É pertinente a avaliação qualitativa do estado de carbonatação das caldas de injeção logo após o destacamento do acrílico. O objetivo foi avaliar visualmente o grau de carbonatação aos 28 e 60 dias, tanto da calda de cal aérea como da calda de cal hidráulica.

Toda a área é então pulverizada com uma solução de fenolftaleína a 0,2 % de concentração. É observada uma alteração de cor, entre as zonas carbonatadas e não carbonatadas.

Tabela 13 – Classificação do ensaio de carbonatação com fenolftaleína, aos 28 e 60 dias

Referência			Carbonatação	
			28 dias	60 dias
Provete circular	AR	CAP_2	9 mm	12
		CH_2	7,8 mm	9
	AM	CAP_2	9 mm	12
		CH_2	7,8	9
Provete paralelepípedo	AR		3,5 mm	4,5 mm
	AM		3 mm	4,5 mm

Nos provetes circulares a pulverização foi feita após 28 dias de cura, logo a seguir ao ensaio de arrancamento (Figuras 66 e 67). Os resultados globais estão expostos na tabela 13. A pulverização com fenolftaleína aconteceu em toda a superfície da argamassa de reboco com a calda de injeção respetiva. Ambas as caldas de injeção apresentavam alguma carbonatação, sendo maior na calda de injeção de cal aérea, CAP_2. No entanto, a diferença para a calda de injeção de cal hidráulica, CH_2 é de apenas 1,2 mm.



Figura 66 – Provets circulares no ensaio de carbonatação

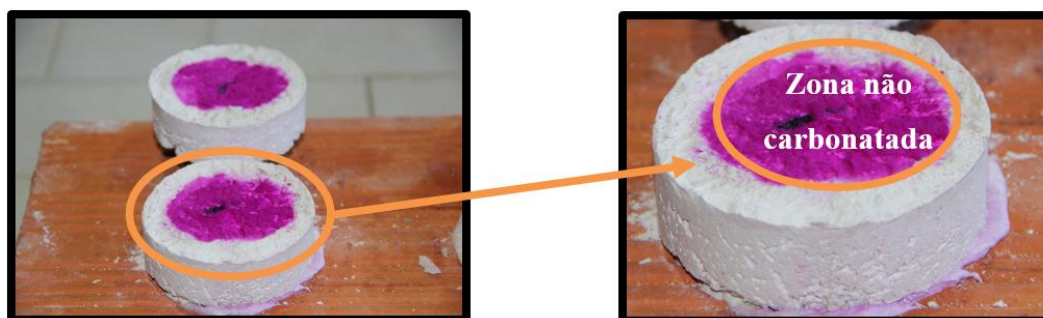


Figura 67 – Carbonatação das caldas de injeção em provets circulares

No ensaio de escoamento das caldas de injeção também foi feito o ensaio de carbonatação, aos 28 e 60 dias de cura. A pulverização da superfície foi feita após o destacamento do acrílico. As figuras 68, 69 e 70 mostram, que ao fim de 28 e 60 dias as caldas de injeção se encontram muito pouco carbonatadas, facto que se justifica pela ausência de ar no interior da amostra (fechada com o acrílico), dificultando a difusão das moléculas de CO_2 pelos poros capilares da argamassa. É perceptível ainda que o bordo exterior da calda consolidante, exposto ao ar, se encontra maioritariamente carbonatado corroborando o facto de se tratar de um processo que se desenvolve do exterior para o interior das caldas de injeção. À medida que a cura se vai verificando é expectável que a área de carbonatação seja cada vez maior.

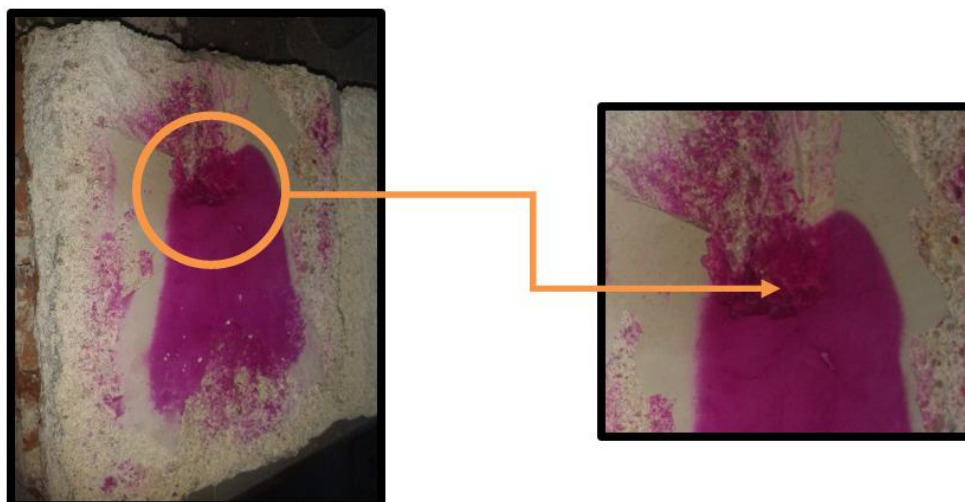


Figura 68 – Ensaio de carbonatação feito no ensaio de escoamento



Figura 69 – Carbonatação com 28 dias com calda de injeção de cal aérea e hidráulica

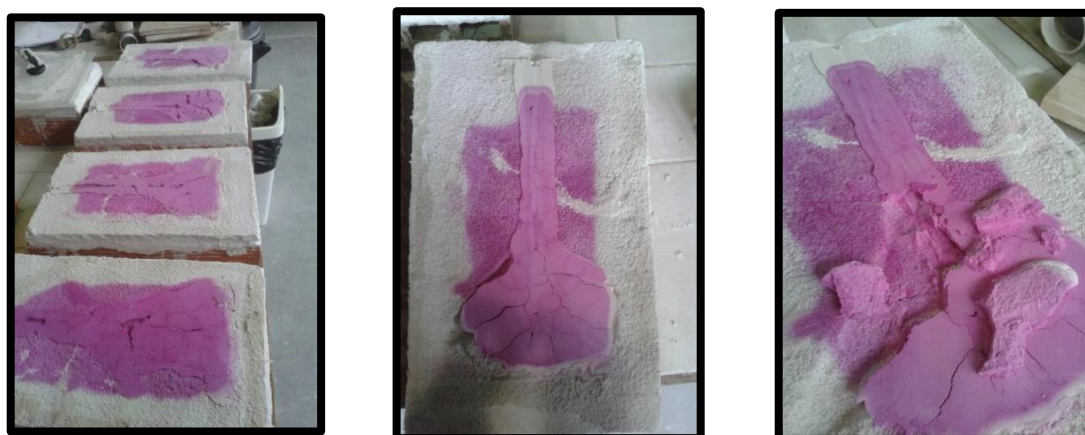


Figura 70 – Carbonatação com 60 dias com calda de injeção de cal aérea e cal hidráulica

Capítulo 5

CONCLUSÃO

5. Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo compreender como é que as caldas de injeção se comportam na consolidação dos revestimentos antigos. Estas caldas precisam de ser compatíveis com os materiais existentes e também economicamente viáveis. Para tal estudou-se o desenvolvimento de caldas de injeção com base em cal aérea e cal hidráulica, avaliando o efeito de parâmetros importantes relacionados com a sua formulação (tipo de ligante, aditivos e adjuvantes) sobre o comportamento em fresco e em endurecido. Finalmente, fazia também parte do objetivo o desenvolvimento de um método de avaliação do desempenho das caldas de injeção quanto à sua capacidade de injetabilidade e o seu grau de aderência.

Para o objetivo geral era pretendido que todos os espaços vazios dos revestimentos a consolidar fossem preenchidos pela calda de injeção o que implicava, para além do estudo das suas características físicas e mecânicas, o desenvolvimento neste trabalho de um teste de avaliação do escoamento das caldas de forma visível. Este propósito foi conseguido.

Foi também realizado, através do uso de um reómetro específico, o estudo para perceber não só o comportamento reológico das caldas de injeção mas como ele poderia ser ajustado. Este trabalho também procurou a correlação entre as argamassas de reboco envolventes e as caldas de injeção visto ser um ponto importante para a consolidação dos revestimentos antigos. Foram efetuados ensaios com argamassas de cal antigas (3 anos de cura) e ainda com argamassas de reboco preparadas em condições diferentes.

O estudo do escoamento da calda de injeção começou por obter duas caldas de injeção base para os ensaios preliminares, tendo como componentes cal aérea ou cal hidráulica, areia fina, água e metacaulino. A calda de cal hidráulica (CH_1) foi a primeira a ser testada. Dos ensaios preliminares de escoamento e fluidez concluiu-se que apresentava um bom escoamento apesar da tendência observada para a sedimentação. A primeira calda de cal aérea (CAP_1), que continha metacaulino para conferir um desenvolvimento maior de resistência, apresentou um mau escoamento e estava demasiado espessa. Este estudo preliminar foi feito com tijolos revestidos com um reboco existente há três anos.

A fim de aperfeiçoar as caldas de injeção foi iniciado o estudo do comportamento reológico. Foi utilizada a calda de injeção de cal hidráulica CH_1 como referência, visto apresentar uma boa capacidade de escoamento e fluidez. Para melhorar a sedimentação apresentada no final do recipiente foi introduzido um adjuvante (um retentor de água à base de éter de celulose). Conseguiu-se assim obter uma formulação para a calda de injeção de cal aérea e de cal hidráulica melhoradas, indo ao encontro dos mesmos parâmetros reológicos da calda de referência, ou seja, que contivesse valores semelhantes de viscosidade plástica e tensão de cedência.

Este estudo da reologia com vários teores de adjuvante para evitar a sedimentação permitiu também concluir que 0,1% é o teor suficiente para obter um bom escoamento sem sedimentação da calda, com valores de tensão de cedência e viscosidade plástica aceitáveis em termos de trabalhabilidade. No caso da calda de injeção de cal aérea foram também mudados o teor de água e metacaulino para se conseguir uma calda de injeção mais fluida e parâmetros reológicos semelhantes aos da referência (CH_1).

As novas caldas de injeção CAP_2 e CH_2, apresentaram boas características ao nível do escoamento e da fluidez. O preenchimento das fissuras provocadas no teste desenvolvido para avaliação do escoamento também foi conseguido.

Nos ensaios de aderência concluiu-se que nem sempre é fácil obter resultados tratando-se de caldas de injeção muito fluidas, com elevados teores de água e, portanto, com um desenvolvimento de resistência mecânica muito lento. Por outro lado, o facto de estas caldas ocuparem espaços fechados dificulta também a reação de carbonatação (caldas de cal aérea) contribuindo também para um endurecimento muito lento. Estes ensaios de aderência foram repetidos para que os valores obtidos fossem coerentes e precisos.

Os ensaios preliminares de aderência permitiram avaliar o comportamento das caldas de injeção iniciais (CAP_1 e CH_1) com a argamassa de cal hidratada com três anos de cura. As caldas de cal aérea e metacaulino apresentam o mesmo tipo de rotura, uma rotura coesiva, verificando-se maiores valores de aderência e uma rotura tipo adesiva na calda de cal hidráulica (CH_1),

Foram depois ensaiadas amostras circulares de argamassas de cal aérea “coladas” com as caldas de injeção curadas durante 28 e 60 dias. Os valores de aderência são

superiores para a calda de injeção de cal hidráulica, principalmente na argamassa de reboco AM, que sendo mais porosa favoreceu a “colagem”.

Por último, o teste a estas amostras curadas a 60 dias mas com ciclos de molhagem de 4 em 4 dias durante 28 dias permitiu concluir que há um aumento da resistência ao arrancamento na calda de injeção com cal aérea (CAP_2) em ambas as argamassas de reboco mas, em relação às amostras com a calda de injeção de cal hidráulica, observou-se o efeito contrário pelo que o acréscimo de água pela molhagem não acarretou quaisquer vantagens uma vez que os processos de hidratação estavam praticamente concluídos.

Foram ainda efetuados estudos de permeabilidade a baixa pressão às caldas e às argamassas de reboco e de carbonatação das caldas de injeção. O primeiro teste permitiu validar o carácter mais poroso e absorvente das argamassas de reboco AM bem como da calda de injeção com base em cal aérea.

Os ensaios de carbonatação resultaram difíceis pois foram feitas em superfícies fechadas ao exterior (tal como as caldas de injeção) o que dificulta o acesso de CO₂ e a reação de carbonatação.

Em termos de trabalho futuro, sugere-se efetuar testes *in situ* de consolidação de revestimentos antigos com as melhores caldas de injeção. Dever-se-á efetuar simultaneamente uma análise destes revestimentos antigos comparando com as características das argamassas de reboco desenvolvidas neste estudo para que melhor se possa compreender o comportamento das caldas de injeção. Pode ser também importante melhorar o teste de injetabilidade desenvolvido no sentido de otimizar as condições de carbonatação das caldas de injeção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, R., (2012), *Caldas de injeção para revestimentos com perda de aderência*, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Tese de Mestrado

AGUIAR, J.; VEIGA, R., (2003), *Definição de estratégias de intervenção em revestimentos de edifícios antigos*, 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto, Março.

AZEITEIRO, L.C., (2011), *Estudo de caldas de injeção para consolidação de revestimentos*, Departamento de Engenharia da Cerâmica e do Vidro, Universidade de Aveiro, Aveiro, Tese de Mestrado

AZEITEIRO, L.C., VELOSA, A., PAIVA, H., MANTAS, P.Q., FERREIRA, V.M., VEIGA, R., (2012), *Caraterização reológica de caldas de injeção para consolidação de revestimentos*, 4º Congresso português de argamassas e ETICS, Coimbra, 29 e 30 de Março de 2012

AZEITEIRO, L.C., et al, (2014), *Development of grouts for consolidation of old renders*, Construction and building materials, Volume 50, Issue, Pages 352-360

COUTO, A.B., COUTO, J.P., (2007). *Especificidades e Exigências das Argamassas na Reabilitação de Edifícios Antigos*, Congresso Nacional de Argamassas de Construção, 2, Lisboa, Portugal

COUTINHO, S, (1997), *Fabrico e propriedades do betão*, LNEC, vol. 1, 2ª edição.

FERRAGNI, D., FORTI, M., MALLIET, J., MORA, P., TEUTONICO, J. M., & TORRACA, G., (1984), *Injection grouting of mural paintings and mosaics. Studies in Conservation*, 29 (Supplement-1), 110-116.

GONÇALVES, A., BRITO, J.; BRANCO, F., (2007), *Reabilitação de Paredes de Alvenaria Revestidas*. APFAC (Associação Portuguesa de Fabrico de Argamassas de Construção), 2º Congresso de Argamassas de Construção.

HEWLETT P.C., (2001), *Lea's Chemistry of cement and concrete*, Ed. Butterworth-Heinemann, Oxford, UK

KHAYAT, K. H. (1998). *Viscosity-enhancing admixtures for cement-based materials—an overview*. Cement and Concrete Composites, 20(2), 171-188.

LUCAS, E. C. P., (1990), *Exigências Funcionais de Revestimentos de Paredes*, Informação Técnica ITE 25, LNEC, Lisboa

LUSO, E. C. P., (2012), *Análise Experimental de Caldas à Base de Cal para Injeção de Alvenaria Antiga.*, Universidade do Minho, Tese de Doutoramento.

LUSO, E. C. P. (2012). *Análise experimental de caldas à base de cal para injeção de alvenaria antiga*.

LUSO, E. C. P., LOURENÇO, P. B., FERREIRA, R. M., (2007), *Injecções para consolidação de construções em terra: revisão do conhecimento e métodos de ensaio*. In 5º Seminário de Arquitectura de Terra em Portugal. Aveiro.

MAGALHÃES, A. C., (2002), *Patologia de rebocos antigos*. LNEC, Cadernos de Edifícios, nº 2, Outubro.

MAGALHÃES, A. C., VEIGA, M. D. R., (2005), *Estudo comparativo de possíveis soluções de argamassas para revestimentos de paredes de edifícios antigos*. In 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção. Lisboa (Vol. 24).

MARGALHA, G., VEIGA, R., SANTOS SILVA, A., Brito, J., (2011), *Traditional methods of mortar preparation: The hot lime mix method*, Cement & Concrete Composites, 33 796–804 pp

MENEZES, M.; VEIGA, M. R., (2012), *Uso de materiais tradicionais em revestimentos exteriores e sustentabilidade: representações e práticas sociais*. Atas das Jornadas de Inovação do LNEC dedicadas ao tema “Cidades e Desenvolvimento”, 18 a 20 de Junho, LNEC, Lisboa.

MENEZES, M.; TAVARES, M. L.; VEIGA, M. R. (2012), *Os revestimentos exteriores dos edifícios históricos como parte da imagem da cidade: Desafios socio-ambientais à sua conservação*. In ROMERO, Marta A. B.; SOUZA, L. C. L; SILVA, A. N.; RODRIGUES, D. S.; RAMOS, R. A. R.; TREVISAN, R.; PESCATORI, C. (org.), *Reabilitar o Urbano*, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (UNB), Brasília, , pp. 147-162.

PAIVA, H., (2005). *Caracterização reológica de argamassas*, Tese de mestrado, Universidade de Aveiro

PAIVA, H., SILVA, L. M., LABRINCHA, J. A., FERREIRA, V. M., (2006), *Effects of a water-retaining agent on the rheological behaviour of a single-coat render mortar*. Cement and Concrete Research, 36(7), 1257-1262.

PAIVA, H., SEABRA, M. P., LABRINCHA, J. A., & FERREIRA, V. M., (2007), *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.

PAIVA, H., ESTEVES, L. P., CACHIM, P. B., FERREIRA, V. M. (2009). *Rheology and hardened properties of single-coat render mortars with different types of water retaining agents*. Construction and Building Materials, 23(2), 1141-1146.

PAIVA, H., (2013), *Correlação entre argamassas e betões com base em análise reométrica*, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Julho de 2006, Tese de Douturamento.

PARK, C. K., NOH, M. H., & PARK, T. H. (2005). Rheological properties of cementitious materials containing mineral admixtures. *Cement and concrete research*, 35(5), 842-849.

PINHO, F., BAIÃO, M., LÚCIO, V. (2003). *Técnicas de consolidação de paredes de edifícios antigos*. 3º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, LNEC, Lisboa.

POON, C. S., KOU, S. C., & LAM, L. (2006). *Compressive strength, chloride diffusivity and pore structure of high performance metakaolin and silica fume concrete*. *Construction and building materials*, 20(10), 858-865.

RILEM, (1980), *Water absorption under low pressure. Pipe method*. Test No. II.4, tentative recommendations. Paris.

RIXOM R., MAILVAGANAM N., (1999), *Chemical Admixtures for Concrete*, Ed. E&FN Spon, London

SANTOS, A. R.; VEIGA, M. R.; MALANHO, S., (2012), *Anomalias nos revestimentos de paredes de um edifício histórico convertido em “hotel de charme”*. *Metodologia de diagnóstico e medidas de reparação: Caso de estudo*. In atas do 4º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios - PATORREB 2012. Santiago de Compostela: 12 a 14 de abril.

SANTOS, A. R., VEIGA, M.R., (2012), *Argamassas compatíveis para edifícios antigos*, In atas do 2º Ciclo de jornadas LNEC: JIIL12 – Jornadas de investigação e inovação: cidades e desenvolvimento. Lisboa: LNEC, 18 a 20 de junho.

SEABRA, M. P., LABRINCHA, J. A., FERREIRA, V. M. (2007), *Rheological behaviour of hydraulic lime-based mortars*. Journal of the European Ceramic Society, 27(2), 1735-1741.

SILVA, C., (2012), *Calda de injeção para adobe: desenvolvimento e avaliação de propriedades*, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Julho de 2012, Tese de Mestrado

TAVARES, M., AGUIAR, J., VEIGA, M., (2003), *Uma Metodologia de Estudo para a Conservação de Rebocos Antigos: O restauro através da técnica de consolidação*. Lisboa: LNEC.

TAVARES, M.; VEIGA, R., (2007), *A Conservação de Rebocos Antigos: restituir a coesão perdida através da consolidação com materiais tradicionais e sustentáveis*. VII SBTA–VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Recife, Brasil.

TAVARES, M., FRAGATA, A., VEIGA, M. R., (2007), *A consolidação da falta de aderência de rebocos antigos – um estudo com diferentes argamassas para grouting*. In 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa

TAVARES, M., (2009), *A conservação e o restauro de revestimentos exteriores de edifícios antigos - uma metodologia de estudo e reparação*. Faculdade de Arquitectura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Novembro de 2009, Tese de Doutoramento.

VELOSA, A., (2006), *Argamassas de cal com pozolanas para revestimento de paredes antigas*, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Julho de 2006, Tese de Doutoramento.

VEIGA, M. R., (2001), *Revestimentos de paredes: funções e exigências*: Arquitectura e Vida, Lisboa: 2001, p. 74-78.

VEIGA, M. R., CARVALHO, F., (2002), *Argamassas de reboco para paredes de edifícios antigos: requisitos e características a respeitar*. Cadernos de Edifícios 2: 50.

VEIGA, M. R.; TAVARES, M., (2002), *Características das paredes antigas. Requisitos dos revestimentos por pintura*. Actas do Encontro A indústria das tintas no início do século XXI. Lisboa, APTETI, Outubro.

VEIGA, M. R., (2003), *Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes*. Actas do 3º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa, LNEC, Maio.

VEIGA, M. R., (2003), *As argamassas na conservação*. In Actas das 1ªs Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Avaliação e Reabilitação das Construções existentes. Aveiro, 26 de Novembro. Conferência convidada. Coleção Comunicações, COM 103, LNEC, Lisboa.

VEIGA, M. R., (2005), *Comportamento de rebocos para edifícios antigos: Exigências gerais e requisitos específicos para edifícios antigos*. Seminário “Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos”. Lisboa, LNEC, 14-15 de Fevereiro.

VEIGA, M. R., VELOSA, A., MAGALHÃES, A., (2009), *Experimental applications of mortars with pozzolanic additions: characterization and performance evaluation*. Construction and building materials, 23(1), 318-327.

VEIGA, M. R.; SANTOS, A. R., (2010), *Renders for ancient buildings: Compatibility of industrial mortars for use in current old buildings*. In atas do 37º IAHS World Congress on Housing Science: Design, Technology, Refurbishment and Management of Buildings. Santander: 26-29 Outubro.

VEIGA, M. R.; SANTOS SILVA, A.; SANTOS, A. R.; TAVARES, M., (2011), *Historical route of the defensive lines of torres. The forts' construction techniques and materials*. In

EUROMAT 2011 – European Congress on Advanced Materials and Processes. Montpellier: 11-15 de Setembro.

VEIGA, M. R.; MENEZES, M.; TAVARES, M., (2011), *Strategies for conservation of historical renderings. Factors and decision criteria*. In ICOM-CC, 16th Triennial Conference, Lisbon, 19-23 September. Paper 1112.

VEIGA, M. R.; SANTOS SILVA, A., TAVARES, M.; SANTOS, A. R.; LAMPREIA, N., (2012), *Durable mortars of a Portuguese military structure from the XVIth century*. In atas da conferência Internacional: ICDS12 – DURABLE STRUCTURES: from construction to rehabilitation. Lisboa: LNEC, 31 de maio a 1 de junho.

VIEIRA, S., (2010), *Conservação de revestimentos históricos: Materiais de consolidação*, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Tese de Mestrado

