Universidade de Aveiro
2010

Departamento de Engenharia Civil

Sandra Isabel Almeida Vieira

Conservação de revestimentos históricos: Materiais de consolidação

Universidade de Aveiro
2010

Departamento de Engenharia Civil

Sandra Isabel Almeida Vieira

Conservação de revestimentos históricos: Materiais de consolidação

Estado de Arte apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizado sob a orientação científica do Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e co-orientação científica da Doutora Ana Luísa Lomelino Velosa, Professora auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

O júri

Presidente

Prof. Dr. Aníbal Guimarães da Costa
Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

Prof. Dr. Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira
Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

Prof. Dra. Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

Dra. Martha Lins Tavares
Investigadora do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Com a presente dissertação, gostaria de agradecer a todos aqueles que de forma directa ou indirecta, contribuíram para a sua execução, principalmente:

- Ao meu orientador Doutor Victor Ferreira e á minha co-orientadora Doutora Ana Velosa pelas suas colaborações, sugestões e disponibilidade;

- À Engenheira Helena Paiva pela sua enorme colaboração, disponibilidade, ajuda preciosa na realização dos ensaios laboratoriais, acompanhamento, opiniões, sugestões, e por todo o incentivo e conhecimentos transmitidos;

- Aos meus pais e ao meu irmão pelo carinho, incentivo e apoio;

- Aos meus avós que apesar de já não se encontrarem fisicamente entre nós, estarão sempre presentes;

- Ao Alberto por toda a sua paciência, incansável apoio, e pela enorme e verdadeira amizade. Sou-te especialmente grata;

- Aos meus amigos, pelo incentivo e amizade;

- Ao Sr. Raul e à Engenheira Maria Carlos pela disponibilidade na parte laboratorial.

O meu obrigado a todos.

Palavras-chave

Conservação, cal aérea, aderência, *grout*, revestimentos antigos.

Resumo

Conservação de revestimentos históricos: Materiais de consolidação

Ao observarmos o legado patrimonial Português deparamo-nos com o facto de este se encontrar na sua maior parte em avançado estado de degradação e passível de intervenção. Tanto ao nível da conservação bem como dos materiais e metodologias de restauro, é imperativo que se desenvolvam estudos de forma a que os requisitos construtivos e funcionais sejam cumpridos para que o parque edificado veja restituída a sua identidade histórica, estética e tecnológica.

Os revestimentos exteriores com base em argamassas de cal estão difundidos em grande parte do nosso património histórico e têm a perda de aderência como a principal causa de degradação. Face ao exposto e no sentido de colmatar a insuficiência de estudos existentes, apresenta-se o seguinte trabalho sobre a conservação de revestimentos históricos e materiais de consolidação.

Através deste trabalho pretende-se desenvolver, com base em estudos efectuados anteriormente, uma calda de cal (*grout*) com o intuito de colmatar problemas de aderência de revestimentos históricos. Procurou-se ter como objectivo principal desta dissertação um melhoramento da técnica de restauro conservativa existente, actuando no âmbito da aplicação do *grout* e composição do mesmo.

Keywords Conservation, lime, adhesion, grout, old renders

Abstract

Conservation of historical renders: Consolidation materials

By observing the Portuguese built heritage one encounters it in a major degraded state and needing for intervention. The development of studies regarding the compliance with structural and functional requirements is considered crucial, on the subject of conservation, materials and restoration methodology, so that historical, aesthetical and technical identities are returned to this building stock.

External renders based on lime mortar are spread throughout our historical heritage and presents on loss of adherence as their main source of degradation. Thus, and looking forward to providing a contribution to existing studies, the following paper is introduced on the conservation of historical renders and consolidation materials.

Based on past works, this work seeks the development of a lime based grout required to work out loss of adherence issues in historical renders. This work had as key purpose un improvement of present restoration techniques, targeting grouting application and composition.

ÍNDICE GERAL

Índice geral I
Índice de figuras III
Índice de tabelas V
1. Introdução 1
1.1. Contextualização e interesse do tema 1
1.2. Objectivos 2
1.3. Estruturação da dissertação 2
2. Revestimentos exteriores - Uso de argamassas 5
2.1. Breve contextualização histórica 5
2.2. Argamassas e o seu uso na reabilitação 6
2.3. Argamassas de cal – Seu uso e importância na reabilitação 7
2.4. Argamassas de revestimento 8
2.5. Argamassas de subtituiçao 11
3. Principais anomalias dos revestimentos exteriores 13
3.1. Perda de aderência 13
3.2. Humidade 15
3.3. Biodeterioração 19
3.4. Perda de coesão 24
3.5. Fendilhação e Fissuração 25
3.6. Erosão 26
3.7. Sais 27
3.8. Sujidade 28
4. Consolidação da perda de aderência 31
4.1. A consolidação através de caldas de cal (grout) 31
4.2. Requisitos de uma calda de cal 32
4.2.1. Compatibilidade química 32
4.2.2. Compatibilidade física 33
4.2.3. Injectabilidade 33
4.2.4. Comportamento à água 34
4.2.5. Tempo de presa 34
4.2.6. Execução da mistura 34

4.2.7. Comportamento reológico 35
4.2.8. Materiais 37
4.3. Técnica de aplicação da calda de cal 42
5. Procedimento experimental 47
5.1. Introdução 47
5.2. Composição do *grout* 47
5.2.1. Materiais constituintes do *grout* 48
5.2.2. Dosagem dos constituintes do *grout* 50
5.3. Confecção dos provetes 51
5.3.1. Preparação das argamassas 51
5.3.2. Elaboração dos provetes simulando descolamento entre camadas 53
5.3.3. Elaboração dos provetes prismáticos 58
5.4. Ensaios realizados 60
5.4.1. Ensaio de reologia 60
5.4.2. Determinação da Retracção 62
5.4.3. Absorção de água por capilaridade 62
5.4.4. Avaliação das propriedades mecânicas 64
5.5. Permeabilidade à água sob baixa pressão com Tubos de Karsten 66
5.6. Ensaio de aderência 67
6. Análise e discussão de resultados 69
6.1. Reologia 69
6.2. Facilidade de Injecção 74
6.3. Retracção livre 75
6.4. Avaliação visual da porosidade 77
6.5. Capilaridade 78
6.6. Propriedades mecânicas 79
6.7. Permeabilidade à água sob baixa pressão 82
6.8. Aderência nos provetes tipo tijolo 86
7. Considerações finais e propostas para desenvolvimentos futuros 93
8. Referências bibliográficas 97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de distribuição granulométrica do agregado utilizado na composição das caldas de injecção (Martins, 2008) 48
Figura 2. Curva de distribuição granulométrica do metacaulino PoleStar450 49
Figura 3. Curva de distribuição granulométrica da areia do rio (Martins, 2008) 53
Figura 4. Mesa de espalhamento 54
Figura 5. Camada de chapisco 54
Figura 6. Camada de emboco 55
Figura 7. Introdução das placas de acrílico 55
Figura 8. Segunda camada de argamassa 56
Figura 9. Provete pronto para injecção do *grout* 56
Figura 10. Preparação do orifício entre camadas 57
Figura 11. Injecção das caldas de cal 57
Figura 12. Provetes tipo "tijolo" finalizados 58
Figura 13. Provetes tipo prismas 59
Figura 14. Provetes na sala de condicionamento 59
Figura 15. Reómetro Viskomat NT da Universidade de Aveiro 61
Figura 16. Medição da retracção livre dos provetes das argamassas de injecção 62
Figura 17. Ensaio de absorção de água por capilaridade 63
Figura 18. Ensaio de Flexão 65
Figura 19. Ensaio de Compressão 66
Figura 20. Ensaio de permeabilidade de água sob baixa pressão com Tubos de Karsten . 67
Figura 21. Realização manual da incisão, para realização do ensaio 68
Figura 22. Colagem das pastilhas 68
Figura 23. Variação do torque em função do tempo da argamassa B 70
Figura 24. Curva de fluxo obtida com a argamassa B para o tempo de ensaio 15 minutos; as setas indicam a velocidade ascendente e descendente 71
Figura 25. Determinação dos parâmetros reológicos da argamassa B para o tempo de ensaio 15 minutos, de acordo com o modelo de Bingham 71
Figura 26. Viscosidade da argamassa de *grout* A (Martins, 2008) 72
Figura 27. Viscosidade da argamassa de *grout* A, B e C 72
Figura 28. Tensão de cedência da argamassa de *grout* A (Martins, 2008) 73

Figura 29. Tensão de cedência da argamassa de *grout* A, B e C 73
Figura 30. Observação do preenchimento das cavidades 75
Figura 31. Retracção livre da largura dos provetes com 35 e 40% água amassadura..... 76
Figura 32. Observação visual da porosidade dos provetes com 35% de água de amassadura 77
Figura 33. Observação visual da porosidade dos provetes com 40% de água de amassadura 77
Figura 34. Valores para a resistência à flexão para as argamassas ensaiadas B, C e A, com 35% e 40% de teor em água. 80
Figura 35. Valores de resistência à compressão para as argamassas ensaiadas B, C e A, com 35% e 40% de teor em água..... 81
Figura 36. Ensaio de absorção de água a baixa pressão da argamassa A e argamassa de reboco do mesmo provete..... 82
Figura 37. Ensaio de absorção de água a baixa pressão da argamassa B e argamassa de reboco do mesmo provete..... 83
Figura 38. Ensaio de absorção de água a baixa pressão da argamassa C e argamassa de reboco do mesmo provete..... 83
Figura 39. Ensaio de absorção de água a baixa pressão da argamassa A e argamassa de reboco do mesmo provete com dois anos de idade..... 84
Figura 40. Gráfico comparativo de todas as argamassas de reboco ensaiadas 84
Figura 41. Gráfico comparativo de todos os *grouts* ensaiados 85
Figura 42. Zona de descolamento da argamassa de reboco 86
Figura 43. Zona de descolamento da argamassa de *grout* A..... 87
Figura 44. Zona de descolamento da argamassa de *grout* B..... 88
Figura 45. Zona de descolamento da argamassa de *grout* C..... 88
Figura 46. Zona de descolamento da argamassa de *grout* A (2 anos) 89

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Causas de fissuração de rebocos (Silva, 2003)..... 26
Tabela 2 – Degradação de revestimentos antigos (Veiga, 2007)..... 29
Tabela 3 – Exigências básicas para uma argamassa de *grout* (Tavares et al. 2007;Tavares, 2009) 35
Tabela 4 – Resumo dos requisitos a garantir às caldas de injecção (Luso et al., 2007) 36
Tabela 5 – Componentes do *grout* e sua função..... 41
Tabela 6 – Análise química FRX do metacaulino PoleStar450 49
Tabela 7 – Caracterização das argamassas de injecção (% em massa)..... 50
Tabela 8 – Constituição da argamassa A 52
Tabela 9 – Constituiçâo da argamassa B..... 52
Tabela 10 – Constituiçâo da argamassa C..... 52
Tabela 11 – Retracção livre das argamassas de *grout* com 35%W 75
Tabela 12 – Retracção livre das argamassas de *grout* com 40%W 76
Tabela 13 – Coeficiente de capilaridade das argamassas de *grout* com 35% W 78
Tabela 14 – Coeficiente de capilaridade das argamassas de *grout* com 40% W 78
Tabela 15 – Valores para a resistência á flexão das argamassas ensaiadas 79
Tabela 16 – Valores para a resistência á compressâo das argamassas ensaiadas..... 80
Tabela 17 – Resumo dos principais resultados obtidos nos ensaios laboratoriais efectuados sobre as argamassas de injecção 91

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização e interesse do tema

Nos últimos anos, a visão sobre a construção e os edifícios já existentes sofreu enormes mudanças. Se antes a máxima era "construir novo", neste momento podemos afirmar que a conservação e a reabilitação assumem cada vez mais uma maior importância, e afirmam-se como uma primordial solução para a construção civil.

A visão do património como herança cultural e arquitectónica tem recentemente vindo a ter um papel impulsionador em acções de conservação e reabilitação.

Os revestimentos exteriores, devido aos factores estéticos, históricos e técnicos apresentam uma enorme importância e cada um é exemplo único de métodos e materiais diferentes. O tempo, faltas de manutenção e agressões externas fizeram com que a maioria dos edifícios se apresente num estado em que a necessidade de intervenção é obrigatória, principalmente ao nível dos seus revestimentos.

No caso de revestimentos antigos é imperativo que a sua remoção deva ser revogada em prol da sua conservação, tendo sempre em conta a compatibilidade e similaridade dos materiais e a sua durabilidade.

Sendo a perda de aderência a principal causa de degradação dos revestimentos, manifestando-se através de destacamentos, descolamentos e lacunas, é fulcral que esta seja corrigida. Nas técnicas correntes de construção não existe um método para restituir a aderência sem que os revestimentos sejam removidos e substituídos por outros, perdendo-se assim o seu valor histórico e patrimonial. É portanto necessário a sua consolidação através de uma calda de cal.

É ainda importante referir que a conservação dos revestimentos antigos assume uma enorme relevância em questões como a promoção da sustentabilidade na construção no âmbito da ecologia e economia.

1.2. Objectivos

O principal objectivo desta dissertação é o desenvolvimento, com base em estudos já efectuados anteriormente (Tavares, 2009 e Martins, 2008), de uma calda de cal (*grout*) passível de ser injectada e compatível com os materiais originais previamente existentes, que vise a consolidação.

É imprescindível que a calda de cal restitua a aderência aos revestimentos históricos, ou seja, entre as diferentes camadas destes, ou entre a camada de suporte e a camada de reboco. Esta deverá apresentar viabilidade económica e ecológica, e dar resposta às exigências construtivas e funcionais do parque edificado antigo.

Para dar cumprimento ao objectivo, procedeu-se ao desenvolvimento de duas novas formulações de argamassas de injecção, que posteriormente foram analisadas através de ensaios recorrendo tanto a provetes prismáticos, bem como a provetes simulando as camadas de argamassa de reboco.

Atendendo à importância do tema, o presente trabalho procura sintetizar um conjunto de informações técnicas e científicas, e também dar um incremento no âmbito da consolidação e durabilidade de revestimentos antigos e históricos, recorrendo à utilização de *grouts*, de forma a colmatar a falta de aderência e as anomalias que dela advêm.

1.3. Estruturação da dissertação

O capítulo 1 consiste na parte introdutória onde é realizada a contextualização e se justifica a importância do tema perante a actualidade. De seguida é apresentado o objectivo principal da dissertação e por fim é divulgada a forma como a informação se apresenta distribuída e organizada nesta.

No capítulo 2, procede-se a uma análise sobre os revestimentos exteriores e o uso de argamassas, procedendo à sua contextualização histórica e no panorama da reabilitação. Posteriormente é realizada a mesma análise para as argamassas de cal. Ainda no mesmo capítulo são aprofundados conhecimentos sobre argamassas de revestimento e argamassas de substituição de rebocos antigos.

Apresenta-se no capítulo 3, uma exposição das principais anomalias dos revestimentos exteriores assim como algumas das suas consequências.

O capítulo 4 trata do tema deste trabalho, ou seja a consolidação da perda de aderência através de injecção de caldas de cal. São expostos os requisitos e técnicas de aplicação das argamassas de injecção.

Segue-se, no capítulo 5, a apresentação do plano de ensaios, com o qual se pretende avaliar as propriedades pretendidas das diferentes argamassas de injecção estudadas para consolidar a perda de aderência. Nesta fase é definida toda a campanha experimental, englobando os materiais, ensaios a realizar e respectivos procedimentos laboratoriais, atendendo quando possível à normalização europeia.

No capítulo 6 são apresentados e discutidos os resultados obtidos na campanha experimental. Em laboratório foi realizada a caracterização das argamassas de *grout*. Os resultados são analisados e discutidos a partir da comparação entre formulações e são confrontados com os resultados espectáveis e com outros resultados laboratoriais obtidos em trabalhos anteriores.

Por fim, no capítulo 7 efectua-se a conclusão do trabalho, onde se faz uma síntese das conclusões retiradas ao longo do trabalho e são tecidas algumas propostas para o desenvolvimento de estudos futuros.

2. REVESTIMENTOS EXTERIORES - USO DE ARGAMASSAS

2.1. Breve contextualização histórica

A argamassa é um material construtivo, cuja utilização data de há mais de 8000 anos. Foi inicialmente usada como revestimento de superfícies, antes mesmo de ser usada como agente de fixação entre pedras (Martins et al., 2004).

Por se encontrarem já na natureza, a lama e o barro foram os primeiros a serem utilizados; mais tarde foi-lhes adicionado palha e areia com o intuito de melhorar a sua consistência e resistência (Martins et al., 2004). Os Babilónios construíram os seus templos usando este artifício, num lugar onde a pedra era escassa e a argila abundante (Paulo, 2006).

A introdução de ligantes artificiais conferia propriedades impermeabilizantes à mistura, estendendo a sua utilização aos revestimentos de paredes e pavimentos e à estabilização das alvenarias. Os blocos de calcário das pirâmides egípcias mais recentes foram assentes sobre argamassas contendo areia e gesso ou cal. A aplicação de cinzas vulcânicas foi introduzida pelos Gregos e desenvolvida pelos Romanos. Estes últimos chegaram a misturar aditivos às argamassas hidráulicas, como sangue, banha e leite, talvez com o objectivo de lhe melhorar a trabalhabilidade. Estas substâncias contribuíam com bolhas de ar na argamassa, o que pode ter influenciado a durabilidade das edificações romanas (Martins et al., 2004; Paulo, 2006).

As razões que levaram ao desuso do cimento hidráulico ou de argamassas pozolânicas não são conhecidas. Estas técnicas permaneceram anónimas por quase 2000 mil anos, sendo retomadas no Renascimento. A partir do século XVIII surgem evoluções; descobriu-se que uma argamassa produzida a partir de calcário impuro era de melhor qualidade. No século XIX determinou-se a composição dos cimentos naturais, levando à criação de cimentos artificiais onde se começava a compreender a influência da granulometria e da água de amassadura na resistência das argamassas. (Martins et al., 2004).

Durante um longo intervalo de tempo estes revestimentos produziram excelentes resultados, porém, nas últimas décadas, tem surgido um aumento no registo de patologias. O desaparecimento de mão-de-obra especializada, a redução do tempo de secagem com o objectivo do cumprimento de prazos, a inclusão de novos materiais, técnicas e sistemas

construtivos, a falta de espaço disponível para os estaleiros em obra, principalmente nos centros urbanos, são algumas das causas do problema (Martins et al., 2004).

A partir da década de 50 foi desenvolvida a tecnologia para a produção industrial de argamassas de construção, procurando resolver as questões citadas atrás através da produção controlada em fábrica (Paulo, 2006).

2.2. Argamassas e o seu uso na reabilitação

A argamassa é uma pedra artificial, resultante da mistura de ligante, agregados e água. Geralmente, os agentes ligantes são de natureza hidráulica (endurecem ao ar ou dentro de água e são resistentes a esta), como o cimento, e a carga de agregados é constituída por areia siliciosa. O processo de mistura destes três elementos obriga à retenção de ar na argamassa. A sua compactação permite a eliminação de algum ar da mistura, mas a sua completa eliminação nunca é conseguida; assim considera-se o ar como um dos seus constituintes. Procurando melhorar ou atribuir determinadas características à argamassa, são utilizados materiais em pequenas quantidades, denominados de adjuvantes ou aditivos, como resinas ou hidrófugos. A formulação de argamassas deve ter em conta factores como o tipo da edificação, sua contextualização histórica e geográfica e as suas funções (Martins et al., 2004).

Ao preservar um edifício tentamos manter a sua identidade quase inalterável, ou seja o resultado final deverá ser o mais fiel possível ao edifício à data de quando foi erguido. É visível a presença de argamassas, quer como ligante quer como revestimento, no parque edificado susceptível de reabilitação, portanto justifica-se a necessidade da compatibilização de técnicas e materiais, adaptados à época da construção dos edifícios No âmbito da estética e da durabilidade, o recurso a materiais e técnicas recentes pode ter consequências funestas. Deve-se ter sempre presente que as intervenções devem, sempre que possível, apresentar-se com uma reversibilidade futura (Amorim, 2003, Couto et al., 2007).

Até há pouco tempo, a solução de reparação recaía, lamentavelmente, quase sempre por numa substituição parca em conhecimentos científicos, onde as características das argamassas e as exigências que estas deverão cumprir eram insuficientemente estudadas, assim como a técnica. Perante a necessidade de uma substituição quer parcial ou total dos revestimentos, deve optar-se por argamassas adequadas, tendo em conta questões funcionais e estéticas entre

outras. No entanto, os requisitos estéticos são casos isolados e o seu estudo não pode de todo ser normalizado (Veiga, 2005, Veiga, 2003a).

São diversas os objectivos e as aplicações de uma argamassa, como por exemplo em revestimentos exteriores e interiores, refechamento de juntas, injecções de consolidação. Aos diferentes tipos de aplicação corresponderão requisitos diferentes, pelo que cada caso deve ser considerado separadamente. De forma a que sejam cumpridos os requisitos funcionais, é necessário ter-se em conta os ensaios e observações já anteriormente realizados. Estes permitem-nos prever e tentar normalizar os comportamentos dos suportes (Henriques et al., 2008,Veiga, 2003a).

2.3. Argamassas de cal – Seu uso e importância na reabilitação

Por volta do século VII a.C. até II a.C. os gregos foram pioneiros no uso de argamassas de cal como revestimentos de paredes. No entanto, com os Romanos (século III a.C. até V d.C.), esta técnica foi aprimorada resultando em argamassas de elevada qualidade e durabilidade, sendo difundidas por todo o Império. Locais como Conímbriga e sítios arqueológicos de Tróia, são exemplos onde é possível observar diversos exemplos destes testemunhos históricos em Portugal (Margalha, 1997; Tavares, 2009).

O recurso frequente a estas argamassas permaneceu em Portugal até meados do século XX. Estas encontravam-se presentes, nas diferentes camadas dos revestimentos de paredes exteriores (Tavares, 2009).

Com a descoberta do cimento e novas técnicas de construir, assim como o progresso da indústria, o uso da cal foi revogado para um segundo plano; por volta da década de 50 do século XX predominava em Portugal era do cimento. Este passou a ser utilizado não só nas construções de edifícios novos como também em restauro de edifícios antigos. Porém, as argamassas de cimento têm um uso desastroso e completamente incompatível na generalidade dos revestimentos antigos, assim como apresentam menor durabilidade comparativamente às argamassas de cal (Tavares, 2009).

A conservação dos revestimentos exteriores constituídos por cal assume cada vez mais um papel fundamental na reabilitação dos edifícios. As argamassas de composição mais

similar àquelas presentes nos edifícios antigos são as argamassas de cal aérea. Estas apresentam algumas limitações no âmbito da sua durabilidade, principalmente quando sofrem a acção da chuva e gelo, mas dão uma satisfatória solução em parâmetros de resistência e coesão (Veiga, 2003a).

Questões estéticas, históricas e técnicas justificam inquestionavelmente o uso destas argamassas de cal. É portanto imperativo que se aprofunde o seu conhecimento.

2.4. Argamassas de revestimento

As argamassas de revestimento devem proteger a parede da acção directa dos agentes climatéricos, de acções mecânicas de choque e erosão, da acção química da poluição, e dos sais solúveis contidos nos materiais na água e no solo.

Segundo Martins et al. (2004), para que as suas funções sejam satisfatórias, as argamassas de revestimento devem possuir, quer no estado fresco ou no estado endurecido, as seguintes propriedades:

Compacidade – A compacidade de uma argamassa depende de como as partículas sólidas que a constituem se arranjam no espaço. É tanto maior quanto menor for a percentagem do volume de vazios na unidade de volume. A compacidade é obtida através da granulometria do agregado e da dosagem indicada de ligante. Poderá ser ainda adicionado um aditivo.

Adesão inicial ou aderência inicial – A adesão inicial é uma das principais propriedades que define a trabalhabilidade das argamassas. Esta propriedade da argamassa fresca permite que se mantenha unida à base de aplicação. È da opinião de Moura (2007), que para uma aderência inicial adequada a argamassa deve apresentar trabalhabilidade e retenção de água adequadas à absorção da base e também às condições de exposição. Para além disto, deverá ser comprimida após aplicação, de forma a maximizar o contacto com a base (que se apresentará limpa, com rugosidade adequada e sem oleosidade).

Consistência e plasticidade – Características condicionantes da trabalhabilidade das argamassas, que asseguram a aderência entre o revestimento e o substrato. A consistência e a

plasticidade são função da relação água/ligante, da relação ligante/agregado, e da natureza e qualidade do ligante.

Aderência – Propriedade que possibilita à camada de revestimento resistir a tensões normais e tangenciais entre a superfície do revestimento e a base. Esta desenvolve-se através da rugosidade do suporte e ancoragem da pasta (Martins et al., 2004).

É considerada uma das propriedades mais relevantes para a avaliação de um sistema de revestimento e é resultado da relação entre a resistência de aderência à tracção, resistência de aderência ao corte, extensão de aderência do conjunto argamassa/base de aplicação. As resistências de aderência são a combinação dos efeitos da entrada da argamassa nos poros do substrato e da resistência mecânica desta argamassa com as forças de ligação superficiais entre argamassa e substrato (Martins et al., 2004).

A granulometria, o teor de finos, a quantidade dos ligantes, a relação água/ligante, bem como a natureza e estado do suporte, e o método de espalhamento da argamassa são factores que influenciam aderência (Martins et al., 2004).

É da opinião de Moura (2007), que a aderência é um processo mecânico que consiste na transferência de água de amassadura entre a argamassa e o substrato, o que permite que a pasta de ligante penetre nos poros do último. A hidratação desta pasta leva à precipitação de hidróxidos e silicatos e à ancoragem do revestimento. O auxílio do microscópio electrónico de varrimento tem levado à conclusão de que, apesar da interface argamassa/substrato ser rica em hidróxido de cálcio e, especialmente, etringite (por ser esta a primeira a ocupar os poros do substrato), a aderência mecânica é devida à presença da rede fibrosa de C-S-H na superfície do mesmo.

O transporte de água pode ser explicado pela teoria dos poros activos. Estes poros (poros que possuem força capilar suficiente para exercer a acção de sucção da água) permitem que a absorção do substrato ultrapasse a força de retenção das argamassas.

Além da aderência pelo fenómeno mecânico, pode ainda ser considerado com menor relevância a aderência por fenómenos físicos (Moura, 2007).

Resistência mecânica – Capacidade apresentada por uma argamassa de revestimento em resistir aos esforços sem desagregar, ou deformar plasticamente. Depende da proporção e natureza dos agregados existentes na mistura. Uma argamassa mais compacta apresentar-se-á com melhores características resistentes.

Flexibilidade – As argamassas de revestimento devem ter a capacidade de se deformar sem fendilhar macroscopicamente e de se adaptarem a fenómenos de retracção, expansão térmica e deformação do suporte. O grau de fissuração depende da baixa reactividade dos ligantes, boa granulometria dos agregados e capacidade de absorção do suporte.

Permeabilidade ao vapor de água – Uma argamassa de revestimento deve permitir a passagem do vapor de água mas não de água líquida. O processo de evaporação de água, proveniente de condensações ou infiltrações acidentais, será imprescindível.

Impermeabilidade à água – Permite limitar a passagem de água da chuva, sendo entendida como uma das principais funções dum revestimento. Esta propriedade, directamente relacionada com a compacidade, é influenciada por factores como o traço da argamassa, sua forma de aplicação e espessura da camada desta e da quantidade de fissuras ou micro-fissuras existentes. Poderá ser tido em conta, de forma ponderada, o recurso a materiais hidrófugos para redução do teor de vazios na argamassa ou na vedação da superfície da camada.

Propriedades de superfície – A textura e porosidade superficiais são tidas em consideração na estética do revestimento. Estão relacionadas com a granulometria, teor de agregados e técnica de execução. As exigências quanto à planeza (ausência de ondulação) e verticalidade de paramentos devem ser também respeitadas.

Rendimento – Relação entre o volume de argamassa que se obtém em relação à quantidade de agregado que foi utilizada.

Tempo de presa – Duração do processo de endurecimento da argamassa.

Capilaridade – Capacidade de uma argamassa em absorver naturalmente água em estado líquido.

Na formulação de uma argamassa de revestimento deve-se ter em conta que esta deverá ser compatível com o suporte, contribuindo e aumentando a durabilidade da solução de revestimento (Penas, 2008).

2.5. Argamassas de substituição

Ao longo do tempo os revestimentos sofrem vários efeitos nefastos, degradam-se e comprometem as condições de habitabilidade, características estéticas e por vezes a salubridade. De forma a readquirir as características iniciais, deve proceder-se a uma célere intervenção, de preferência de carácter pontual, para que o valor histórico do revestimento não se comprometa (Couto et al., 2007).

As argamassas de substituição apresentam-se como uma possível solução; devem ser aplicadas conhecendo de antemão o revestimento existente, sob a penalização de o contrário resultar quase sempre, em soluções catastróficas. Estas desempenham a função de protecção, aumento da durabilidade e visualmente devem ser o mais fiel possível com o aspecto inicial (Couto et al., 2007).

Espera-se ainda que a argamassa a aplicar não crie tensões excessivas no suporte, evite infiltrações de água e também o envelhecimento diferencial entre revestimentos, apresente-se permeável ao vapor de água, seja relativamente deformável e tenha um comportamento aos sais satisfatório. Estas funções deverão estar asseguradas pelo revestimento no seu conjunto (Couto et al., 2007).

Segundo Tavares (2009), a solução final deve basear-se no tipo de suporte, nas anomalias anteriormente presentes, condições ambientais e na mão-de-obra disponível para a execução da reparação. Previamente deve-se ainda proceder a uma aplicação da argamassa no local, a fim de serem realizados os devidos ensaios.

3. PRINCIPAIS ANOMALIAS DOS REVESTIMENTOS EXTERIORES

Os revestimentos exteriores desempenham um papel muito importante a nível arquitectónico e a nível da valorização do edifício. Estes estão expostos diariamente a agressões que resultam em várias anomalias e posteriormente na diminuição da funcionalidade, durabilidade, conforto, etc.

Para que as medidas preventivas e/ou de reparação sejam adequadas é fundamental um profundo conhecimento das anomalias e suas causas.

No seguinte ponto serão expostas as principais anomalias assim como algumas das suas consequências.

3.1. Perda de aderência

A perda ou falta de aderência da argamassa ao substrato é uma das mais expressivas manifestações patológicas nos revestimentos, diminuindo significativamente a sua vida útil (Kieling et al., 2009).

Segundo Martins et al. (2004), e como já foi anteriormente referido, a anomalia é causada pela impossibilidade da camada de revestimento resistir às tensões normais e tangenciais a actuar na interface com a base. Esta patologia manifesta-se através do descolamento da argamassa à base de assentamento, dando-se posteriormente o empolamento do reboco e seu desprendimento do suporte. Desta forma temos as seguintes fases do destacamento (Rosa et al., 2005; Gaspar et al., 2007):

- Descolamento: distanciamento entre o reboco e suporte. Pode ser detectado através do som oco, indicativo de um vazio sob o reboco. A argamassa mantém a sua coesão através da sua tensão de superfície;

- Deformação ou empolamento: desenvolvimento de curvaturas exteriores (abaulamentos) ou curvaturas interiores (esmagamentos);

- Desprendimento: separação definitiva da argamassa em relação ao suporte, originando irregularidades da superfície; é importante referir que esta fase ocorre para um estado grave de deterioração;

- Lacunas: perda total de revestimento. Dá-se através de acção mecânica ou por corrosão de metais inclusos na argamassa ou suporte. Este processo causa uma variação de volume que posteriormente irá originar as lacunas.

A perda de aderência pode ocorrer devido a várias causas que posteriormente irão causar fissuras, rupturas e descolamento sobre o revestimento, destacam-se assim as seguintes causas (Tavares, 2009; Gaspar et al., 2007):

- Defeitos construtivos: espessura excessiva do revestimento, aplicação de revestimentos rígidos sobre suportes mais frágeis, falta de rugosidade do suporte, falha na limpeza deste, traço incorrecto da argamassa, má cura que se reflecte na falta de aderência da argamassa, aplicação do revestimento com temperaturas muito elevadas ou muito baixas;

- Movimentos diferenciais entre o suporte e o revestimento;

- Presença de sais no interior do revestimento;

- Presença de humidade.

Esta anomalia define o final da vida útil do reboco, pois a sua função de protecção do suporte é extinta, ficando desta forma susceptível à acção climatérica e de elementos nefastos. Poderá representar também um perigo para a segurança dos utentes, pois é eminente a queda de partes da argamassa. Interligada à deterioração do reboco está consequentemente a degradação da qualidade visual da fachada (Gaspar et al., 2007).

3.2. Humidade

A humidade em revestimentos exteriores é, sem dúvida, uma das patologias mais correntes, causando grave deterioração de edifícios e dos seus materiais. É responsável por perda de aderência, perda de coesão, erosão, dissolução, desagregação, formação de sais solúveis e o surgimento de contaminação biológica (Tavares, 2009).

É manifestada por manchas, mofo, bolor, escorrimento ou gotejamento de água, corrosão, eflorescência e até mesmo pelo aparecimento de fissuras. Existem diversas possibilidades das águas "atacarem" as edificações; a cada tipo de causas corresponde um conjunto de "sintomas", que poderão ser diagnosticados por uma simples observação visual, por cálculos com base nos materiais e locais e/ou por ensaios e análises "in-situ" (Tavares, 2009).

De uma forma muito resumida, existem 6 formas de manifestação de humidade. Segundo Henriques (2001) são elas: humidade do terreno, humidade de construção, humidade de precipitação, humidade de condensação, humidade devido a causas fortuitas e devido a fenómenos de higroscopicidade.

É comum que mais do que uma forma de humidade apareçam associadas até porque muitas vezes umas são consequências de outras.

Humidade de Terreno (ou Humidade de Ascensão Capilar)

A humidade existente no solo, ou seja, o fluxo vertical de água, tende a infiltrar-se pela superfície inferior das fundações e pelos paramentos em contacto com o solo, ascendendo por capilaridade e manifestando-se na parte permeável da estrutura (Henriques, 2001).

A altura de água nas paredes que na ausência de barreiras estanques pode ser significativa, depende das condições de evaporação de água que para aí tenha migrado, da porosidade e permeabilidade do material, da quantidade de água que se encontra em contacto com o paramento, bem como da espessura da parede, época da construção e orientação da parede (Henriques, 2001).

Para que existam manifestações de humidade proveniente do terreno, de origem capilar ou freática, é necessário que as paredes se encontrem em contacto com a água do solo

(fundações das paredes estão situadas abaixo do nível freático), ou em terrenos com uma elevada capilaridade (neste caso poderá ser acima do nível freático). Em paredes em contacto com terrenos pouco permeáveis ou com pendentes viradas para as estas também pode ocorrer este fenómeno, dando origem a que as águas da chuva, ou provenientes de outras fontes, possam escorrer sobre o terreno e entrar em contacto com aqueles elementos (Henriques, 2001).

A humidade pode ter origem nas águas freáticas ou superficiais. Nas situações em que a humidade é proveniente das águas freáticas, os fenómenos não são sazonais e são constantes, verificando-se que a altura das manchas é aproximadamente constante, sendo maior nas paredes interiores do que nas paredes exteriores devido ao menor grau de evaporação. Quando a humidade é proveniente das águas superficiais, os fenómenos são sazonais (mais gravosos no Inverno do que no Verão (Henriques, 2001).

Tanto a nível freático bem como a nível superficial existe um conjunto de anomalias usuais a este tipo de humidade. São estas, manchas de humidade, bolores, vegetação parasitária (em locais de pouca ventilação), erosão (provocada pela ciclo humedecimento/secagem), eflorescências e criptoflorescências (Henriques, 2001; Tavares, 2009).

Humidade de Construção

Humidade resultante da água utilizada em fase de construção dos edifícios. Resulta da absorção de água dos materiais (tijolos), da introdução de água nas argamassas para a construção de alvenarias e da água das chuvas quando os materiais da obra não se encontram protegidos. Isto traduz-se num elevado teor de água existente nas paredes em que a evaporação pode ser longa, e em características de isolamento térmico reduzido das mesmas (Henriques, 2001).

Este tipo de humidade pode originar anomalias generalizadas ou pontuais, provenientes da evaporação da água ou do facto de o teor em água dos materiais ser superior ao normal. Quando a anomalia se deve ao excesso de teor em água dos materiais, manifesta-se geralmente na forma de manchas de humidade ou condensações. Quando se deve à evaporação de água, é normal causar destacamentos e expansões do material ou

condensações. Estas anomalias tendem a desaparecer ao fim de um intervalo de tempo (Henriques, 2001).

Humidade de precipitação

A acção da chuva juntamente à acção do vento faz com que a primeira passe a ter uma componente horizontal (tanto maior quanto a intensidade do vento) que é responsável pela acção de humedecimento das paredes e da diminuição da resistência térmica dos materiais que as constituem. É portanto de extrema importância referir que a localização geográfica e orientação da parede são dois factores determinantes e a ter sempre em conta na concepção da parede (Henriques, 2001).

O humedecimento de uma parede pode dever-se à penetração directa das gotas, através de fissuras ou juntas mal vedadas, ou pela formação de uma cortina de água sobre a parede, que posteriormente através da acção do vento ou por acção da capilaridade dos materiais, pode penetrar nesta por gravidade, (Henriques, 2001).

As anomalias devido à acção da chuva tendem a desaparecer quando o tempo se mantém seco. Manifestam-se através de manchas de humidades nos paramentos interiores de paredes exteriores e pelo aparecimento de eflorescências, criptoflorescências e bolores (Henriques, 2001).

Humidade de Condensação

Segundo Henriques (2001), a humidade de condensação apresenta duas formas: as condensações superficiais e as condensações internas.

A condensação superficial deve-se ao facto da temperatura superficial das paredes ser menor do que a temperatura do ambiente, o que leva ao aumento da humidade relativa da camada de ar em contacto com as paredes (Henriques, 2001).

A insuficiência da espessura do isolamento térmico das paredes em contacto com o espaço mais frio, condições de ocupação, a insuficiente ventilação e temperatura ambiente inferior, promovem a ocorrência de condensações superficiais (Henriques, 2001).

As condensações internas ocorrem num ponto, onde a pressão parcial de vapor de água que atravessa uma parede por difusão é igual à pressão de saturação correspondente à

temperatura do ponto. São influenciadas pelas características do isolamento térmico dos materiais constituintes das paredes e sua permeabilidade ao vapor de água. O isolamento condiciona as temperaturas no interior e determina os valores de pressão de saturação e permeabilidade ao vapor de água de cada ponto, determinando as variações de pressão parcial ao longo da parede (Henriques, 2001).

As patologias associadas à humidade de condensação podem ser de carácter temporário ou permanente. Segundo Henriques (2001), as anomalias devido a condensações superficiais manifestam-se pelo aparecimento de manchas (generalizadas ou localizadas) e pelo desenvolvimento de fungos, cuja causa se deve à existência de teores de água decrescentes (do interior para o exterior) ao longo da espessura das paredes. As condensações internas não se manifestam usualmente de forma visível, no entanto, podem originar o apodrecimento de materiais orgânicos, destaque de materiais e redução da capacidade de isolamento térmico dos materiais no interior.

Humidade devido a causas fortuitas

Este tipo de humidade tem carácter pontual e a sua causa atribui-se geralmente a defeitos construtivos, humanos ou falhas de equipamentos. A sua manifestação é repentina, tendo como principais causas: telhas partidas, caleiras entupidas ou deterioradas, remates deficientes, roturas de canalizações em instalações hidráulicas e sanitárias (Henriques, 2001).

As formas de manifestação desta forma de humidade são várias e estão associadas a aspectos como a natureza localizada das anomalias, períodos de precipitação que resultam em infiltrações de águas e rotura de canalizações, podendo ter carácter permanente e de grande gravidade nestas situações (Henriques, 2001).

Humidade devido a fenómenos de higroscopicidade

Esta forma de humidade tem origem nos sais no interior das paredes provenientes dos materiais de construção e em solos ricos em matérias orgânicas. A existência destes sais por si só não é gravosa, mas quando as paredes são humedecidas, os sais dissolvidos acompanharão as migrações da água e cristalizarão sob a forma de eflorescências e criptoflorescências quando a água se evapora. Alguns destes sais são higroscópicos, ou seja, absorvem a humidade do ar dissolvendo-se para valores de humidade relativa entre 65 e 75%,

recristalizando depois. Isto traduz-se num aumento de volume quando a humidade relativa diminui e numa degradação devida aos ciclos de dissolução-cristalização (Henriques, 2001).

Os sais associados à ocorrência de manifestações patológicas são os sulfatos, carbonatos, cloretos, nitritos e nitratos, sendo importante referir que os dois primeiros não são higroscópicos (Henriques, 2001).

Em consequência dos ciclos de variações de humidade relativa (ciclos dissolução/cristalização) surgem patologias como o aparecimento de manchas de humidade em locais com fortes concentrações de sais (manchas essas decrescentes ao longo da espessura da parede, do interior para o exterior), eflorescências /criptoflorescências e a consequente degradação dos revestimentos das paredes (Henriques, 2001).

É ainda de referir que existe uma semelhança visual entre as anomalias resultantes da humidade de condensação e as anomalias resultantes da humidade higroscópica, o que se traduz em complexos processos de diagnóstico por vezes incorrectos (Henriques, 2001).

3.3. Biodeterioração

Segundo Sousa et al. (2005), os revestimentos são um meio propício ao desenvolvimento de várias colónias de organismos vivos. Os revestimentos de cal têm uma porosidade que vai permitir a acção de diversos agentes de degradação.

As bactérias, os líquenes, os fungos, as briófitas, etc., provocam degradações químicas e/ou mecânicas. Temos ainda de considerar as deteriorações fruto de plantas superiores (raízes), assim como as acções de animais, principalmente através das fezes dos pombos que são ricas em sais e matéria orgânica. De acordo com as espécies presentes, o tipo de substrato e a temperatura ambiente, estas alteram quimicamente e posteriormente esteticamente os revestimentos (Sousa et al., 2005).

As anomalias tomam forma através de manchas coloridas, incrustações e de órgãos vegetativos reprodutivos. Dá-se também erosão, transferência de iões e lixiviação (Sousa et al., 2005).

Os microorganismos podem desenvolver-se apenas à superfície (epilípticos), em pequenas cavidades ou fissuras (clasmolíticas), ou no interior da estrutura porosa do revestimento (endolíticos). Como a generalidade dos revestimentos de cal são muito porosos e têm grande capacidade de reter água, é-lhes propício o desenvolvimento de microflora (Sousa et al., 2005).

As actividades metabólicas dos organismos e junção com ouros factores provocam no revestimento danos físicos (abrasão, tensões mecânicas), químicos (dissolução, reacções de oxidação / redução) e estéticos (manchas coloridas e incrustações) (Sousa et al., 2005).

Em Portugal, os revestimentos exteriores sofrem da referida deterioração. No entanto, no caso dos revestimentos à base de cal, esta matéria não está suficientemente desenvolvida e estudada (Tavares, 2009).

Bactérias

São os organismos mais simples existentes na maioria dos ambientes naturais. A sua enorme variedade e a capacidade de se adaptarem às mudanças ambientais são propriedades que lhes permite subsistirem em todos os ambientes (Sousa et al., 2005).

Os revestimentos favorecem o seu desenvolvimento, principalmente depois de ocorrer uma carbonatação da cal e a diminuição do pH. As bactérias nos revestimentos produzem substâncias que vão atacar quimicamente os compostos dos revestimentos, consoante o tipo de substâncias são classificadas de bactérias autotróficas e de bactérias heterotróficas. As primeiras obtêm o carbono a partir do dióxido de carbono da atmosfera e obtêm a sua energia directamente da luz solar ou de reacções químicas de oxirredução; as bactérias heterotróficas obtêm carbono através de compostos orgânicos presentes nos revestimentos (Sousa et al. 2005).

O índice de alteração do revestimento é função do tipo de bactéria, dos produtos que produzem e dos materiais constituintes das argamassas. As anomalias mais usuais causadas por estes organismos são a formação de crostas negras, perda de coesão e alteração de cores (Tavares, 2009).

Algas e cianobactérias

As algas e as cianobactérias são organismos fotoautotróficos que em condições favoráveis de humidade, temperatura e luz adequada se desenvolvem em revestimentos. A condição principal do desenvolvimento destes organismos é a humidade, logo quando esta está presente em quantidade suficiente, estes são os primeiros a ser encontrados (Sousa et al., 2005).

As cianobactérias conseguem desenvolver-se apenas na presença de dióxido de carbono, azoto e pequenas quantidades de sais minerais, tendo a capacidade para fixar directamente o azoto (Sousa et al., 2005). São as mais resistentes aos raios UV, ambientes secos e à privação de matéria orgânica. "*É bastante usual serem encontradas em revestimentos com cal, onde dissolvem os carbonatos, instalando-se no substrato onde formam micro-cavidades*" (Tavares, 2009).

As algas podem crescer tanto no interior como à superfície do revestimento, e degradam-no através da respiração, isto é, retendo água e libertando ácidos ou compostos (Sousa et al., 2005).

O desenvolvimento das algas e das cianobactérias ocorre de forma sazonal (com elevada frequência na Primavera e no Outono), quando a quantidade de humidade satisfatória e as temperaturas amenas. No Inverno, com a diminuição da temperatura e no Verão, com a diminuição da humidade, os organismos morrem, mas através das células mortas os corpos reprodutores voltam a desenvolver-se assim que as condições ambientais favoráveis estejam restabelecidas. Apresentam também a capacidade de se adaptar a vários substratos, alterando a sua morfologia e coloração (Sousa et al., 2005).

O estudo das algas e das cianobactérias apresenta relevância na conservação dos revestimentos, pois estes têm a capacidade de causar danos químicos e físicos e originar patinas de diferentes cores em todos os locais húmidos e sem incidência directa da radiação solar. Existe a possibilidade de observar patinas também com as colorações verdes escuras, castanhas, cinzentas, pretas ou cor-de-rosa, dependendo do organismo, do seu estado de vida, temperatura, intensidade de luz e humidade (Sousa et al., 2005).

Líquenes

Os líquenes são uma associação estável e auto-suficiente entre um fungo (micobionte) e um ou mais organismos fotossintéticos (fotobionte), que podem ser uma alga unicelular ou uma cianobactéria. O fungo desenvolve funções de protecção em relação ao fotobionte e este, devido à sua clorofila, absorve a energia solar e procede à sintetização de produtos orgânicos.

Os líquenes desenvolvem-se em ambientes com humidade considerável, assim como na superfície do revestimento ou no interior da argamassa (Tavares, 2009).

A acção dos líquenes sobre o revestimento pode ter (Tavares, 2009; Sousa et al., 2005):

- Componente física (acção mecânica originada pela de fixação do talo – o talo com a variação de humidade sofre alterações de volume o que provoca tensões e posteriormente fendas e fissuras, bem como a perda de aderência do revestimento);
- Componente química (produção de ácidos que vão reagir com minerais dos rebocos e das próprias paredes);
- Componente estética (produção de pigmentos que vão adulterar a cor do revestimento).

Através de um processo químico o líquen funcionar como protecção do revestimento. Isto acontece quando líquen produz ácido oxálico, que dissolve o carbonato de cálcio por baixo do talo, formando uma crosta que protege os revestimentos de agentes climatéricos e controla a humidade e temperatura; no entanto esta crosta não deve ser de carácter permanente. Quando o ácido produzido pelo líquen é o óxido carbónico, e este reage com as substâncias orgânicas, como o cálcio, pode ocorrer lixiviação. Os líquenes são ainda responsáveis por manchas e patinas (Sousa et al., 2005).

A acção de remoção de líquenes deve ser ponderada, pois poderá conduzir ao destacamento da camada superficial do revestimento (Sousa et al., 2005).

Actinomicetos e fungos

Os actinomicetos e os fungos, são organismos estritamente heterotróficos, o que significa que para se desenvolverem precisam de se alimentar de matéria orgânicas. O

desenvolvimento destes seres é favorecido quando se estabelecem temperaturas e humidades relativas altas. É comum a sua presença em revestimentos com pinturas (Tavares, 2009; Sousa et al., 2005).

A acção destes organismos sobre o revestimento pode ter (Tavares, 2009; Sousa et al., 2005):

- Componente física (degradação mecânica causada pela penetração do micélio fúngico na estrutura do revestimento – isto pode provocar perda de aderência e consequente desprendimento das camadas);
- Componente química (a acção metabólica destes organismos contribui para a degradação do revestimento e acumulação de matéria orgânica na superfície dos mesmos);
- Componente estética (alteração da cor original dos revestimentos, aparecimento de manchas negras).

A acção mecânica pode ser considerada quase como desprezável, já a que acção química tem consequências muito mais nefastas e prejudiciais para o revestimento (Sousa et al., 2005).

Briófitas e plantas diversas

As plantas podem apresentar-se como agentes de degradação muito importantes, devido à pressão exercida pelo crescimento das suas raízes e exsudação de ácidos (oxálico, cítrico, etc.). A acção mecânica, dá-se nas zonas onde o revestimento se apresenta fendilhado ou ligeiramente destacado e em rebordos. Pode posteriormente levar ao desprendimento do revestimento (Tavares, 2009; Sousa et al., 2005).

Animais

Os pombos em zonas urbanas e as gaivotas em zonas costeiras são responsáveis por significativas biodeteriorações do parque edificado. As fezes destes animais, para além do efeito inestético e pouco higiénico, corroem quimicamente os revestimentos exteriores. Estas são ricas em compostos de azoto (amónia) e fósforo que promovem o desenvolvimento da microflora heterotrófica (Sousa et al., 2005).

A avifauna apresenta-se como uma das maiores causas de degradação de monumentos Tavares, 2009; Sousa et al., 2005).

Contaminação Atmosférica

A poluição atmosférica é um grave problema na degradação dos revestimentos à escala mundial e resulta da actividade industrial, comercial e também do crescente tráfego. Os poluentes presentes na atmosfera podem ser (Sousa et al., 2005):

- Sólidos, poeiras e areias, emitidas principalmente por industrias;
- Fumos e partículas de pequenas dimensões;
- Gases.

Nos gases dá-se relevância ao dióxido de carbono e aos óxidos de azoto e enxofre que, ao dissolverem-se na água presente na atmosfera, originam chuvas ácidas. As partículas são transportadas pelo vento e parte delas são depositadas no interior das estruturas dos revestimentos provocando manchas negras e afectando a sua durabilidade (Sousa et al., 2005).

Os efeitos desta causa de degradação estão presentes nos nossos centros urbanos e causa o agravamento do seu estado de conservação.

3.4. Perda de coesão

Gaspar et al. (2007), definem como perda de coesão o processo em que as partículas constituintes da argamassa sofrem desagregação, resultando posteriormente no seu desaparecimento. Pode ainda ser definida como a perda de resistência mecânica dos revestimentos. Este processo é usual ocorrer em edifícios antigos, onde frequentemente é possível observar zonas onde ocorreu o destacamento de reboco exterior, o que faz com que o reboco interior seja susceptível a degradações.

A perda de coesão manifesta-se geralmente por três tipos de anomalias (Tavares, 2009):

- Pulverização: esfarelamento da argamassa sob a forma de pó ou de grânulos;

- Arenização ou desagregação granular: destacamento sem que seja necessário esforços de grande intensidade, de partículas de dimensões similares à areia;

- Farinação: desagregação de pós muito finos.

A perda de coesão pode ser desencadeada pela presença de humidade, presença de microrganismos, poluição e pelos círculos de cristalização de sais.

3.5. Fendilhação e Fissuração

A uma abertura longitudinal que trespassa toda a espessura do revestimento, causando rotura, dá-se o nome de fenda. Neste caso é possível distinguir as partes do elemento construtivo. Por fissura entende-se uma abertura longitudinal fina, que apenas condiciona a parte superficial do revestimento; em geral estas são menores que as fendas e não atingem os limites dos corpos (Martins et al., 2005).

No caso das paredes, estas anomalias podem dever-se a retracções e reacções químicas que desencadeiam expansões dos materiais ou ainda a cargas concentradas, acções dinâmicas, por movimentos diferenciais provocados por variações térmicas, assentamentos de fundações e deformações do suporte (Martins et al., 2005).

Devido a uma enorme variedade de revestimentos, são atribuídas várias causas possíveis à fissuração e fendilhação, podendo ter origem na constituição do reboco, no suporte e ainda outros factores. Quanto à constituição do reboco, este pode contribuir para o desenvolvimento das referidas anomalias através da sua retracção, de dilatações e contracções higrotérmicas, da passagem a gelo da água absorvida, traço de argamassa incorrecto, o que se traduz em retracções elevadas, espessura e aplicação do revestimento inapropriada. As causas atribuídas ao suporte são de uma forma geral a elevada rigidez deste, reacções com sais presentes no suporte, absorção de água em quantidades elevadas, perda de aderência. A concentração de tensões em coberturas, a corrosão de elementos metálicos são ainda outras causas que podem originar a fissuração e fendilhação (Martins et al., 2005).

Nos casos onde apenas surge fissuração do revestimento, sem que o suporte veja a sua função danificada, as causas são atribuídas exclusivamente ao tipo e modo de aplicação de

revestimento bem como à sua incompatibilidade química ou mecânica com o suporte (Silva, 2002).

Na tabela 1 é possível observar as origens e correspondentes tipos de fissuração em rebocos.

Tabela 1 - CAUSAS DE FISSURAÇÃO DE REBOCOS (SILVA, 2003)

Origem da fissuração	Tipo de fissuração
Reboco propriamente dito	Fissuração por retracção Fissuração devida a deficiente adaptação do suporte Fissuração devidamente dita
Deficiente concepção e aplicação	Fissuração devida a misturas cimento-gesso Fissuração devida a concentrações junto a aberturas Fissuração devida à corrosão de elementos metálicos
Suporte	Fissuração devida a deslocamentos de suportes Fissuração devida a reacções com sais existentes no suporte
Reboco e suporte	Fissuração devida a comportamentos diferenciais de suportes heterogéneos Fissuração devida a absorção excessiva do suporte Fissuração devida a variações dimensionais diferentes Fissuração devida à retracção do suporte

O estudo e uma possível monitorização das fendas e fissuras são aspectos a considerar na conservação e reabilitação de edifícios. Através destas, penetram água e outros elementos que promovem a degradação do revestimento, influenciando desta forma a durabilidade dos edifícios bem como o custo das reparações (Silva, 2003).

3.6. Erosão

É caracterizada por um desgaste ou destruição do revestimento, estando implicada uma modificação na superfície deste. Não é obrigatório estar associada à perda do material, apenas à alteração de aspecto ou textura da superfície do revestimento (Tavares, 2009).

A referida patologia resulta das seguintes causas (Tavares, 2009; Martins et al., 2005):

- Acções mecânicas - As pessoas, animais, máquinas e objectos podem provocar erosão, assim como o embate das partículas transportadas pelo vento com o revestimento e acção da chuva;
- Acções físicas – Variações de temperatura, bem como as variações de volume causadas pela água são também causas de degradação do revestimento;
- Acções químicas - A dissolução das partículas do revestimento devido à acção da água e as reacções químicas entre os materiais e estes e os agentes atmosféricos.

O revestimento é portanto mais susceptível de sofrer erosão, quanto mais exposto estiver à acção dos agentes atmosféricos, à humidade e a esforços mecânicos de diferentes naturezas (Martins et al., 2005).

3.7. Sais

Esta frequente patologia ocorre apenas quando as condições de humidade são os ideais para desencadear a acção dos sais. Os sais nos revestimentos podem ser originários da atmosfera, do solo, dos constituintes das paredes (tijolos, argamassas, etc.) e/ou da sua decomposição, da presença de alguns seres vivos que colonizam os rebocos, dejectos de animais e de produtos a que são sujeitos (Tavares, 2009).

A porosidade dos revestimentos possibilita que os iões penetrem e circulem por eles até que se dê a evaporação da água. Nesta fase dá-se a cristalização na forma de sais. O sistema poroso, sujeito à humidade relativa do ar, está sujeito a ciclos de cristalização e dissolução (Henriques, 2001).

Os danos resultantes dos sais podem dever-se à cristalização de sais dissolvidos por evaporação da água, por hidratação destes ou por expansão térmica. Em geral, qualquer sal tem capacidades de degradar o revestimento quando cristaliza, isto devido à variação do seu volume. Já a degradação de sais por hidratação só se dá quando existe mais do que um ciclo de hidratação (Sousa et al., 2005).

A porosidade do revestimento, o local deste onde ocorre a cristalização e a sua resistência mecânica influenciam a acção destrutiva dos sais. Os rebocos mais porosos, como é o caso dos rebocos de cal, são bastante permeáveis, o que significa que a percentagem de água é superior, logo consequentemente também as quantidades de sais solúveis. São também mais permeáveis e permitem uma evaporação mais rápida, logo a possibilidade de ocorrência de cristalização é maior. Apesar de apresentarem valores baixos de resistência mecânica, o que poderia permitir uma degradação devido às pressões causadas pela cristalização, verifica-se que esta não é assim tão usual pois os cristais reorganizam-se nos poros sem causarem excessos de pressão (Sousa et al., 2005).

Quando a cristalização ocorre à superfície, formam-se eflorescências. Estas são películas superficiais de cor branca, geralmente designadas por salitre, apenas com consequências inestéticas. Quando a cristalização ocorre no interior da estrutura, formam-se criptoflorescências. Estas são responsáveis por anomalias mais severas como a perda de coesão e de aderência. A presença de mais do que um sal no revestimento pode ter consequências mais gravosas (Tavares, 2009).

3.8. Sujidade

A sujidade nos revestimentos provém da deposição de poeiras e partículas poluentes nos revestimentos através da acção do vento, bem como pelo escorrimento da água da chuva. Se numas situações o escorrimento da água da chuva se traduz numa limpeza, noutras cria excessos de sujidade que ao escorrerem se traduzem em "*caminhos preferenciais de escorrimento*" causando manchas (Martins et al., 2005).

A textura do revestimento, orientação da fachada em relação aos agentes atmosféricos e a presença de agentes protectores da fachada são os principais condicionantes desta anomalia (Martins et al., 2005).

A seguir, resume-se na tabela 2 as principais anomalias dos revestimentos exteriores, bem como as causas mais prováveis destas (Veiga, 2007).

Tabela 2 – DEGRADAÇÃO DE REVESTIMENTOS ANTIGOS (Veiga, 2007)

Anomalia	Causas mais prováveis
Humidade: De obra ou construção; De terreno; De precipitação; De condensação; Devida a fenómenos de higroscopicidade; Devida a causa fortuitas;	Aplicação do reboco antes da secagem adequada do suporte; Zonas de paredes em contacto com a água do solo; Existência de materiais de elevada capilaridade; Inexistência de barreiras estanques nas paredes; Revestimentos com elevada permeabilidade à água; Condensação do vapor de água em contacto com o revestimento ou no seu interior; Existência de sais higroscópicos no interior dos revestimentos que fixam água em grandes quantidades, constituindo uma espécie de depósito de água; Roturas de canalizações, entupimento de caleiras, algerozes, tubos de queda, corrosão das canalizações metálicas, deficiência de cobertura.
Fendilhação e Fissuração	Causas atribuíveis à construção do reboco; Retracção do reboco; Dilatações e contracções higrotérmicas; Gelo; Deficiente dosagem na execução da argamassa; Espessura inadequada do revestimento; Causas atribuíveis ao suporte; Deslocamentos do suporte; Reacções com sais existentes no suporte; Absorção excessiva do suporte; Concentração de tensões junto a aberturas; Corrosão de elementos metálicos: ligadores, canos, redes metálicas.
Eflorescências e Criptoflorescências	Presença prolongada de humidade; Sais solúveis presentes no reboco, no suporte ou na água infiltrada; Cal não carbonatada.

Anomalia	Causas mais prováveis
Biodeterioração (algas, musgos, líquens, fungos, plantas diversas e animais de porte)	Presença prolongada de humidade; Falta de ventilação; Iluminação; Acumulação de pó, terra e sujidade na superfície do revestimento; Porosidade elevada do revestimento.
Perda de coesão ou Desagregação	Humidade seguida de cristalização de sais; Reboco fraco, sem dureza superficial; Acção de microrganismos e organismos; Reacção química entre os materiais que constituem os revestimentos e os compostos naturais ou artificiais (poluição) contidos na atmosfera.
Perda de aderência (descolamento, abaulamento, destacamento)	Presença de humidade; Presença de sais; Dilatações e contracções térmicas (variações dimensionais do reboco); Movimentos do suporte; Erros de execução do revestimento: excesso de água na amassadura, falta de humedecimento conveniente do suporte, falta de limpeza da superfície a ser revestida, falta de rugosidade suficiente do suporte, composição pouco adequada da argamassa; Elevada impermeabilidade à água do suporte; Insuficiente permeabilidade ao vapor de água do revestimento.
Erosão	Humidade ; Esforços mecânicos de natureza diversa (atritos, golpes, etc.); Acções físicas dos agentes atmosféricos (vento, chuva, variação de temperatura); Perda de coesão: Esforços mecânicos de natureza diversa (atritos, golpes, etc.).

4. CONSOLIDAÇÃO DA PERDA DE ADERÊNCIA

Entende-se por consolidação de um revestimento a penetração profunda de um material, que vai conferir uma melhoria das propriedades de coesão, reestruturando as partículas do material desintegrado, melhoria das suas propriedades mecânicas e da aderência entre o conjunto revestimento/suporte ou entre as várias camadas de revestimento (Tavares, 2009).

Para Tavares (2009), quando a anomalia é a falta de aderência, esta pode ser restituída através da injecção de uma pasta no interior das camadas, que consiste numa argamassa líquida com agentes adesivos: a esta mistura dá-se o nome de *grout*.

Segundo Aguiar et al. (2006), a consolidação é uma técnica utilizada com frequência em pinturas murais e pedra, mas no âmbito dos rebocos a sua utilização é ainda parca. É por isso de extrema importância um aprofundamento do seu de estudo, de forma a que esta se torne viável técnica e economicamente, não se podendo descurar a complexidade que lhe é inerente.

4.1. A consolidação através de caldas de cal (*grout*)

«*Uma calda de injecção ou "grout" é uma argamassa 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*» (Toumbakari, 2002).

Tavares (2009) refere que as caldas de cal são argamassas líquidas constituídas por materiais orgânicos ou inorgânicos, ligantes aéreos ou hidráulicos e agregados muito finos. O processo de consolidação consiste na injecção, na parte não visível do reboco, da calda de cal, que ao preencher a cavidade promove a aderência entre camadas ou entre camadas e substrato.

São condicionantes desta técnica a complexa determinação da composição de uma pasta compatível mecânica, física e quimicamente com o revestimento original, bem como do modo de aplicação da calda. O processo de secagem que ocorre dentro da parede, estando privado

de dióxido de carbono é outro factor que não pode ser ignorado (Tavares, 2009; Martins, 2008).

Antes da injecção do grout é necessário a realização de ensaios *in situ* e em laboratório. Estes devem ser realizados com o objectivo de a compatibilidade e outras características da calda serem minuciosamente conhecidas (Couto et al., 2007).

Apresenta-se como uma técnica de reforço de carácter quase irreversível, que permite conservar o aspecto original exterior dos revestimentos. Esta característica permite-lhe que seja uma solução frequentemente utilizada em intervenções sobre edifícios de reconhecido valor patrimonial e histórico, ou revestimentos a que lhes seja conferido um valor elevado devido raridade da técnica ou do material (Couto et al., 2007; Aguiar et al., 2006).

4.2. Requisitos de uma calda de cal

As caldas de cal não devem provocar modificações profundas na estrutura e no meio onde vão ser aplicados. O *grout* e materiais que o constituem devem ser compatibilizados com o meio que o irá receber, evitando-se assim danos químicos ou mecânicos no material previamente existente (Perret et al., 2003; Tavares, 2009).

Para que o processo de reparação e consolidação se apresente como uma solução eficaz, apresentam-se de seguida as propriedades mais importantes para a caracterização de caldas de injecção.

4.2.1. Compatibilidade química

Se a calda não for quimicamente compatível com o suporte, posteriormente irá degradá-lo. A sua composição química não deverá sofrer alterações ao longo do tempo, ou seja devem ser "*estáveis no tempo*", não devendo possibilitar a formação de produtos secundários nocivos à própria argamassa. As suas ligações com o suporte devem ser portanto irreversíveis (Luso et al., 2007; Tavares, 2009).

Deverá ter propriedades resistentes aos sais de sulfato, de modo a evitar expansões e eflorescências. O teor de iões de sódio, potássio e alcális deverá ser também mínimo e o cálcio solúvel (Luso et al., 2007; Tavares, 2009).

4.2.2. Compatibilidade física

Algumas características relevantes são a resistência à compressão, resistência à flexão, retracção e aderência ao material a consolidar.

Resistência mecânica

O *grout* deve permitir melhoramentos na coesão e resistência mecânica do conjunto. Esta melhoria deve ser proporcional e não exagerada comparativamente ao revestimento existente. A rigidez do conjunto deve-se manter (Luso et al., 2007).

Tanto o módulo de elasticidade como a resistência à compressão da calda deve ser inferior à do substrato (Tavares, 2009).

Retracção e Aderência

A retracção e aderência são características geralmente relacionadas. Pretende-se que a calda tenha uma retracção baixa e satisfatória e adequada aderência ao suporte, de forma a um bom funcionamento do conjunto (Luso et al., 2007; Tavares, 2009).

4.2.3. Injectabilidade

«A injectibilidade é a capacidade de escoamento da mistura e de manter tal característica por um certo período de tempo e que permita uma injecção fácil do elemento» (Luso et al., 2007).

A injectabilidade da calda é condicionada pela morfologia e tamanho dos grãos dos materiais que a constituem e do suporte (absorção/adsorção), bem como pela fluidez e viscosidade (Luso et al., 2007).

Segundo Tavares (2009), à aptidão de a calda se manter por tempo suficiente na forma fluida, para a injecção das cavidades, dá-se o nome de fluidez. É função da distribuição granulométrica dos grãos, forma e natureza dos mesmos, quantidade de água de amassadura, método de mistura e sua estabilidade (capacidade de homogenização da calda previamente às reacções de exsudação e segregação).

Para diminuir as heterogeneidades deve haver ausência de segregações e para diminuir a presença de vazios no estado endurecido a exsudação deve ser mínima. Quanto à quantidade de água, esta deve ser elevada mas doseada de forma a que não crie retracções e fissuras (Luso et al., 2007; Tavares, 2009).

4.2.4. Comportamento à água

As caldas de cal devem ter uma elevada permeabilidade ao vapor de água e o seu coeficiente de capilaridade deve estar compreendido entre os 50 e os 100% do substrato original. Devem também apresentar-se insolúveis em água e com volumetria constante perante a presença de humidade (Luso et al., 2007; Tavares, 2009).

4.2.5. Tempo de presa

Define-se como tempo de presa o intervalo de tempo que dura o processo de endurecimento. Esta propriedade resulta da reacção do ligante com a água e depende dos materiais que constituem a calda, do tipo de argamassa e sua porosidade (Martins et al. 2004, Tavares 2009).

O tempo de início de "presa" deve ser o necessário para que o processo de injectibilidade ocorra sem que exista endurecimento da calda de cal. Estima-se 48 horas como o tempo de presa máximo. (Tavares 2009; Luso et al., 2007).

4.2.6. Execução da mistura

A mistura deve apresentar-se homogénea. Para isso adicionam-se os vários materiais sólidos constituintes da calda numa misturadora, incorporando nesta lentamente os constituintes líquidos. O tempo de mistura está compreendido entre 5 e 15 minutos (Tavares, 2009).

Pode ser obtida uma calda com melhores características de penetração e com maior estabilidade, se o processo de mistura se realizar a uma velocidade elevada e durante um período elevado de tempo (Zajadacz, 2006).

4.2.7. Comportamento reológico

É de elevada importância conhecer o comportamento reológico do *grout* no seu estado fresco, pois posteriormente as suas propriedades no estado endurecido irão estar directamente relacionadas. Características da calda de injecção como a retenção de água, trabalhabilidade, viscosidade, fluidez, plasticidade e influência dos vários devem ser estudadas no âmbito da reologia (Tavares, 2009).

Na tabela 3 são descritas as propriedades mais relevantes e exigências a que uma calda de injecção se encontra sujeita.

Tabela 3 – EXIGÊNCIAS BÁSICAS PARA UMA ARGAMASSA DE *GROUT* (Tavares et al. 2007;Tavares, 2009)

Propriedades	Exigências
Consistência	Suficientemente fluida para injectar
Tempo de "presa"	Inferior a 48 horas
Exsudação	Mínima possível mas sempre inferior 2% do volume inicial
Módulo de elasticidade	Menor que o do substrato (< 80%)
Resistência à compressão	Menor que a do substrato (< 60%) [1 e 2]
Contracção e dilatação da argamassa na secagem	O mínimo possível (< 4%)
Coeficiente de dilatação térmica	Similar ao original
Permeabilidade ao vapor de água	Preferencialmente alta
Coeficiente 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 sódios e potássio não deve ser superior a 120mg/kg de argamassa)
Força de arrancamento/Aderência	≥ 0,1 N/mm²

Na tabela 4 podemos encontrar, de uma forma sucinta, os principais requisitos a que devem atender as caldas de injecção.

Tabela 4 – RESUMO DOS REQUISITOS A GARANTIR ÀS CALDAS DE INJECÇÃO (Luso et al., 2007)

Requisitos	Propriedades
Requisitos Reológicos	Fluidez durante tempo suficiente e capacidade de penetração uniforme, de modo que todos os vazios sejam preenchidos de igual forma - injectabilidade (propriedades caracterizadas pela homogeneidade, ausência de grumos, com granulometria inferior à dimensão dos vazios a preencher, baixa viscosidade, baixo ângulo de contacto, etc.); De preferência ausência de segregações (para evitar heterogeneidades); A exsudação deve ser mínima, para diminuir a presença de vazios quando a mistura estiver no estado endurecido.
Requisitos Físicos	Deverá ter características químicas estáveis no tempo, ou seja, ser capaz de formar ligações químicas fortes com o material existente, através de reacções irreversíveis; Deverá ser resistente aos sais de sulfato, de modo a evitar a formação de produtos expansivos e eflorescências; Teor de alcális deverá ser mínimo.
Requisitos Mecânicos	O tempo de início de presa deverá ser adequado ao tempo para necessário à execução da injecção; As propriedades higroscópicas deverão ser: insolubilidade em água e estabilidade volumétrica na presença de humidade; Pretende-se que a calda tenha uma retracção baixa.
Requisitos Térmicos	Pretende-se que a calda tenha baixo calor de hidratação para evitar o desenvolvimento de gradientes térmicos que possam prejudicar a aderência ao suporte.

4.2.8. Materiais

Areia, cal e água são os três constituintes principais de uma calda de cal, que visa restituir a aderência em revestimentos antigos. No entanto, composições apenas contendo estes materiais apresentam diversas limitações, como a dificuldade de injecção, difícil carbonatação da cal devido à difícil difusão de CO_2. De forma a ultrapassar estas limitações e a atingir a consolidação da perda de aderência, foram desenvolvidas novas composições incorporando na mistura primária aditivos, adjuvantes, diferentes ligantes e agregados (Tavares, 2009).

Ligantes

Segundo Martins et al. (2004), grande parte dos ligantes provêm da cozedura de vários tipos de calcários. Dos calcários puros (teor de impurezas inferior a 5%) obtêm-se cais aéreas, dos calcários margosos (teor de argila compreendido entre 5% e 20%) obtém-se cais hidráulicas e os cimentos naturais são obtidos das margas calcárias (teor de argila entre 20% e 40%).

Através da acção da temperatura, o calcário com teor não inferior a 95% de carbonato de cálcio (CaCO3) ou de carbonato de cálcio e magnésio origina a cal aérea. Esta pode ser denominada por cálcica ou magnesiana: a cal aérea cálcica pode ser gorda quando se obtém a partir de calcários com percentagem superior a 99% de carbonatos, ou magra quando os calcários que a originam contêm entre 1% e 5% de argila ou outras impurezas. A cal aérea magnesiana contém um teor em óxidos de magnésio superior a 20% (Martins et al., 2004).

A reacção endotérmica de calcinação dá-se através da cozedura a 900ºC dos calcários, formando óxido de cálcio ou cal viva. Posteriormente, a cal apagada (pó ou pasta) é obtida por aspersão ou imersão em água da cal viva (Martins et al., 2004).

Na fabricação deste ligante as impurezas como a sílica, óxidos de ferro e alumínio podem modificar as suas propriedades (Kaefer, 1998).

A cal aérea apresenta a limitação de ter uma fraca resistência mecânica e uma grande sensibilidade à água no estado líquido. No entanto, apresenta um bom comportamento perante ambientes saturados de vapor. Esta deve possuir baixo teor de sais solúveis e características

compatíveis com o revestimento existente. É indicada para a conservação e reabilitação de rebocos ou pinturas de interiores (Tavares, 2009; Martins et al., 2004).

A cal é o principal ligante a ser utilizado no *grout,* de reabilitação de edifícios antigos, pois deverá ser compatível com as argamassas antigas que apresentam ligante aéreo. Podem ser utilizadas composições com cal aérea, com aditivos que promovam hidraulicidade, ou então recorrer á utilização de cal hidráulica (Tavares, 2009).

Água de amassadura

A água de amassadura deve estar isenta de impurezas e encontra-se na proporção entre os 60% e 80% relativamente ao peso dos sólidos. Esta percentagem varia consoante os materiais utilizados e até se obter uma calda suficientemente fluida para ser injectada (Ferragni et al., 1984).

A água de amassadura quando usada numa percentagem elevada reduz a viscosidade e a tensão de cedência (Martins, 2008).

Agregados

O agregado é o material em maior percentagem presente na calda e confere-lhe estabilidade e durabilidade. Devem ser utilizados agregados finos ou *filler*, de peso, densidade e morfologia conhecidos – os finos são responsáveis por uma maior tensão de cedência e uma maior viscosidade (Tavares, 2009; H. Paiva, 2005).

Os agregados devem manter-se homogéneos e não devem sedimentar rapidamente. Devem também ter dimensões inferiores ao orifício onde se injectará a calda, bem como aos espaços vazios a ser preenchidos (Tavares, 2009).

Os agregados e filler mais utilizados em *grout* são micro areias de rios (siliciosas), pó de mármore e sílicas micronizadas com dimensões compreendidas entre 10 e 350 µm (Tavares, 2009). A sua qualidade é avaliada a partir das características das caldas com elas preparadas e não exclusivamente por ensaios a cada agregado isolado (Rodrigues, 2004).

Aditivos

- Pozolanas

As pozolanas são materiais siliciosos e aluminosos no estado amorfo, que na presença de água reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio livre, formando compostos como silicatos e aluminatos de cálcio. Estas têm sido utilizadas em ambientes com elevada agressividade química e o seu uso tem como objectivo primordial promover a hidraulicidade das caldas de cal (Velosa, 2006; Martins et al. 2004).

As pozolanas podem ser naturais ou artificiais. As primeiras são por exemplo materiais de origem vulcânica, determinadas pedras-pomes e perlites; as segundas são subprodutos industriais como, por exemplo, as cinzas volantes, metacaulino e escórias de alto-forno (Martins et al., 2004).

O uso de pozolanas nas caldas de cal favorece o aumento da resistência aos sulfatos e às reacções sílica-agregado, que degradam as argamassas através da produção de compostos expansivos. Aumentam ainda a trabalhabilidade e a coesão da argamassa, assim como também a hidraulicidade conforme já foi referido. No entanto, o aumento do tempo de presa é uma desvantagem que não se pode desprezar (Martins et al., 2004).

Segundo Rodrigues (2004), a introdução de componentes pozolânicos em argamassas de cal aérea confere-lhes características hidráulicas, e introduz também uma melhoria extremamente positiva de grande parte das características destas (Rodrigues, 2004).

De acordo com Tavares (2009), devido à existência de uma grande variedade de pozolanas, cada qual com características diferentes, a escolha da pozolana ideal deverá resultar do ensaio em laboratório de várias composições.

- Pó Cerâmico

Os pós cerâmicos têm características pozolânicas, e como tal estas conferem-lhe as particularidades que lhes são próprias, dependendo da argila usada, da finura do pó e da temperatura da cozedura dos tijolos e telhas (Velosa, 2006).

As caldas de cal com partículas de pó cerâmico de menor dimensão e obtidas numa cozedura, a temperaturas inferiores a 950ºC têm tempo de presa mais rápido, menor retracção

e aumento de resistência mecânica. Quando as partículas de pó cerâmico são de dimensão maior, verifica-se que estas funcionam como introdutores de ar, permitindo uma melhor carbonatação da calda e resistência aos sais solúveis e gelo (Tavares, 2009).

Adjuvantes

- Introdutores de ar

Os introdutores de ar provocam o aparecimento de pequenas bolhas de ar, com diâmetros máximos de 1mm na calda de cal, durante o processo de amassadura. As bolhas actuam como um corte de capilaridade, melhorando a capacidade de resistência ao gelo/degelo e aos sais (principalmente sulfatos), o que resulta num aumento da durabilidade. Estes tornam a mistura mais homogénea e aumentam a trabalhabilidade, reduzem o teor de água na amassadura e a viscosidade, fazendo com que a tensão de cedência não varie (H. Paiva, 2005; Martins et al., 2004).

- Polímeros

O uso de polímeros nos *grouts* confere baixa viscosidade, boa adesão e elevada resistência à compressão. Desta forma restabelecem a adesão entre camadas.

Apesar de serem utilizados principalmente em caldas de cal com fim estrutural, estes apresentam limitações como uma baixa expansão térmica e baixa permeabilidade à água. Consequentemente a estrutura irá deparar-se com problemas de transporte de água dentro da estrutura e esforços térmicos (Tavares, 2009).

- Agentes retentores de água

Os agentes retentores de água são adjuvantes bastante utilizados nos *grouts*, pois possibilitam a retenção durante um maior período de tempo de água de amassadura até que ocorra a presa. Estes actuam também como agentes espessantes aumentando a viscosidade, a tensão de cedência e a coesão dos materiais, e diminuindo a segregação dos materiais o que facilita a homogeneidade e trabalhabilidade (H. Paiva, 2005).

- Plastificantes ou agentes redutores de água de amassadura

Os agentes plastificantes ou agentes redutores de água de amassadura são utilizados nas argamassas de cal com o objectivo de diminuir a quantidade de água de amassadura, mantendo a fluidez. Consequentemente diminuem a viscosidade e melhoram a trabalhabilidade (H. Paiva, 2005).

Segundo H. Paiva (2005), o uso em excesso deste tipo de adjuvantes poderá por em causa as reacções de hidratação da argamassa, aumentando o tempo até ao inicio de presa, o que irá dificultar o endurecimento deste. Para que a trabalhabilidade não seja comprometida existem no mercado superplastificantes cuja dosagem pode ser superior e que permitem reduzir significativamente a proporção de água, as suas únicas limitações são o seu elevado custo e acção curta (30 minutos).

A cada nova composição de uma argamassa de cal deverá corresponder um conjunto de ensaios laboratoriais que confirmem a sua eficácia (Tavares, 2009).

Na tabela 5 apresenta-se um resumo das principais influências de cada um dos componentes presentes na formulação de um *grout,* assim como as características e propriedades dos mesmos (Zajadacz et al., 2006).

Tabela 5 - COMPONENTES DO *GROUT* E SUA FUNÇÃO

Componentes do *grout*	Função	Propriedades desejáveis
Ligante	Promover propriedades coesivas e adesivas ao *grout*.	Conteúdo reduzido de iões solúveis; Coesão; Adesão.
Agregado	Inerte ao *grout*.	Densidade baixa; Partículas de forma irregular.
Aditivo	Melhorar as características de desempenho e trabalhabilidade do *grout* e minorar propriedades negativas que o ligante ou o agregado possam possuir.	Conteúdo reduzido de iões solúveis;
Fluidificante	Atribuir fluidez ao *grout* para permitir a sua aplicação apropriada (injecção).	pH neutro;
Estabilizador	Prevenir e reduzir o efeito de separação da mistura do *grout* por sedimentação.	Densidade baixa.

Em trabalhos realizados anteriormente pode verificar-se que o comportamento do *grout* é condicionado também por outros factores. São exemplos, o tempo e a velocidade de amassadura. Um maior tempo de amassadura influencia a consistência do *grout*; já uma maior velocidade torna-o mais injectável e estável, principalmente se o aumento da velocidade for também por um maior intervalo de tempo. Estes factores praticamente não alteram as propriedades mecânicas de argamassas com apenas cal aérea como ligante, mas quando se trata de uma argamassa de injecção com pozolanas o mesmo não acontece (Henriques et al., 2008, H. Paiva et al., 2010).

Foi também estudado o efeito do gluconato de sódio, este confere à calda uma maior fluidez, facilidade de penetração e estabilidade. Percentagens reduzidas deste fluidificante aumentam expressivamente a penetração do *grout* (Martins, 2008).

4.3. Técnicas de aplicação da calda de cal

A injecção do *grout* em orifícios executados previamente ou já existentes nas paredes pode ser realizada através de injecção manual, injecção mecânica, gravidade e pistolas eléctricas. No caso das pistolas eléctricas, existe a limitação de a pressão exercida não ser de controlo fácil. (Tavares, 2009; Luso et al., 2007).

A técnica mais utilizada no caso de vazios entre camadas é a injecção manual através de seringas. Estas podem ser adaptadas com tubos de látex para um sistema de aplicação por gotejamento que ocorre com pouca pressão. A injecção deve ser efectuada por gravidade, se possível dos dois lados da parede, no sentido vertical ou com uma inclinação mínima (Tavares, 2009; Luso et al., 2007).

A calda de cal deve ser injectado de forma lenta, constante de forma a não criar bolhas de ar, deverá também ser realizado numa altura inferior a 1 metro/dia para que as pressões hidrostáticas das caldas não danifiquem a estrutura (Tavares, 2009; Luso et al., 2007).

Existem vários procedimentos a realizar, antes e posteriormente à injecção da calda de cal, de forma a proceder à consolidação da perda de aderência.

Diagnóstico de degradação

Deverá determinar-se a localização das zonas do revestimento com perdas de aderência através de ensaios não destrutivos (ultra-sons, termografias, esclerómetro de pêndulo), ou através da execução de pequenos golpes com os dedos das mãos, de forma a sentir o som oco ou vibrações. Posteriormente deve-se efectuar um registo que inclua fotografias, gráficos e indicação escrita da profundidade, extensão e morfologia das zonas afectadas (Tavares, 2009).

Tratamento prévio

Segundo Tavares (2009), quando no revestimento surgir simultaneamente uma zona com perda de coesão e perda de aderência, deverá consolidar-se a perda de coesão primeiro e posteriormente a perda de aderência.

Protecção do revestimento

Quando é iminente a queda de partes destacadas do revestimento, sobre revestimentos decorativos, podem ser utilizados antes da injecção do *grout,* papéis ou tecidos juntamente com adesivos, para a proteger o revestimento existente (previamente preparado com um verniz) (Tavares, 2009).

Limpeza dos vazios

De forma a eliminar impurezas e consequentemente promover uma melhor aderência do *grout*, as zonas com lacunas, fissuras e fendas devem ser limpas com trinchas de pelo macio, "peras" de borrachas ou aspirador manual de baixa pressão (Tavares, 2009).

Selagem de fissuras, fendas e lacunas

Para evitar manchas sobre o revestimento e perda de material, as zonas com perda de aderência que estiverem abertas, devem ter os seus orifícios estancados através de algodão (pequenos orifícios), ou de materiais mais impermeáveis e de maior aderência que tenham a propriedade de poderem ser removidos posteriormente, como por exemplo uma argamassa fraca de cal e areia (orifícios maiores). Neste caso, o processo de injecção só poderá ser iniciado após a secagem completa da argamassa (Tavares, 2009).

Abertura de orifícios

A abertura de furos é realizada quando não existem aberturas naturais nos revestimentos (zonas ocas). Segundo Luso (2007), a disposição, tamanho e quantidade de furos é função da espessura, morfologia e estado de degradação do revestimento e devem ser realizados ao longo das fissuras e com inclinação de forma a que os destacamentos e vazios sejam completamente preenchidos.

O tamanho dos orifícios deve estar compreendido entre 2 a 3 mm de diâmetro e deve ser realizado um orifício que promova a saída do ar. Estes devem estar presentes na forma de 2 a 4 furos por metro quadrado, com uma profundidade de 2/3 a 1/2 da espessura da parede, podendo ser realizados manualmente, através do recurso a agulhas grossas (revestimentos muito degradados) ou utilizando uma furadeira manual ou eléctrica (Tavares, 2009; Aguilar, 1998).

Humedecimento de vazios

Para evitar a absorção excessiva de água da calda de cal por parte do suporte, este deve ser humedecido com uma injecção de uma solução contendo água e álcool na proporção em volume de 1:1. Esta solução deve ser injectada até o aparecimento de marcas de humidade à superfície, devendo-se ter em conta que a quantidade a utilizar é função do grau de ventilação, composição da argamassa e condições termohigrométricas da parede (Tavares, 2009; Mora et al., 2001).

Considerações a ter durante e após a aplicação da calda

Durante o processo de injecção, anteriormente abordado, e após a sua conclusão deve-se ter em conta as seguintes considerações.

Durante a injecção do *grout* e imediatamente após, a zona tratada deve ser pressionada com a mão de forma ligeira para que o líquido seja distribuído uniformemente e a cal penetre eficientemente resultando num nivelamento de superfícies e maior aderência (Tavares, 2009).

É da opinião de Tavares (2009), que na ocorrência de grandes abaulamentos do suporte pode-se recorrer ao uso de um extensor, que com uma pressão moderada possibilita o retorno à posição inicial do revestimento. O extensor deve ser inserido logo após a injecção da calda,

ou seja antes da sua secagem e o revestimento em contacto com este, para não ser danificado, deve ser previamente protegido por um material tipo espuma.

Após a injecção da calda e da verificação da existência de zonas ocas (ensaio de percussão), os orifícios executados para a injecção carecem de ser fechados através de uma argamassa de cal idêntica à original (Tavares, 2009).

De forma a verificar o preenchimento total das zonas vazias e quantificar a quantidade utilizada de produto, deve-se elaborar um registo que contenha as informações de todos os orifícios realizados e a quantidade de produto injectado (Tavares, 2009).

Controle do tratamento

Após o processo de injecção da calda, deve-se proceder a inspecções que verifiquem a estabilidade da estrutura e ausência de formação de produtos prejudiciais a esta. As inspecções deverão ocorrer a cada seis meses durante o ano inicial, posteriormente deverão ser anuais (Serrano, 1998)

5. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

5.1. Introdução

Este trabalho teve como objectivo o desenvolvimento em laboratório e estudo de três formulações de caldas de cal aérea injectáveis, com o fim de restituir a aderência de rebocos antigos.

Decidiu-se desenvolver 2 novos *grouts* com igual composição mas percentagens diferentes do aditivo metacaulino (também de origem diferente), bem como com percentagens diferentes de água de amassadura. Foi ainda estudado e ensaiado novamente um dos *grouts* desenvolvido anteriormente (Martins, 2008).

Todas as argamassas tem traço 1:3, traço considerado como adequado por vários autores para argamassas de cal aérea antigas, ou para argamassas de cal aérea com componentes pozolânicos (Rodrigues, 2004).

Foram confeccionados provetes prismáticos e também provetes que visam simular a perda de aderência entre camadas onde foram injectadas as caldas de cal, estes últimos foram desenvolvidos por Tavares (2009). Procedeu-se posteriormente aos devidos ensaios.

A campanha experimental foi realizada no Laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

5.2. Composição do *grout*

As três caldas de cal variam na sua composição, através da utilização de dois tipos distintos de metacaulino (EccoPozz e PoleStar450) e traço do mesmo (10, 20, 33 por cento). A adição do metacaulino é feita em substituição de uma percentagem da quantidade da cal, correspondente ao traço 1:3. Assim, a percentagem em massa da porção cal + metacaulino é constante em todas as amostras.

5.2.1. Materiais constituintes do *grout*

Foram utilizados os seguintes materiais na composição do *grout*:

- Ligantes

Neste trabalho foi utilizada uma cal aérea hidratada (CL90).

- Água

Em todos o trabalho usou-se água da rede normal de consumo do município de Aveiro que abastece os laboratórios da Universidade. Não foram efectuados quaisquer testes para determinar a sua composição e variabilidade.

- Agregados

A carga utilizada foi a micro areia de sílica, de designação comercial SS-160, com a seguinte curva de distribuição granulométrica.

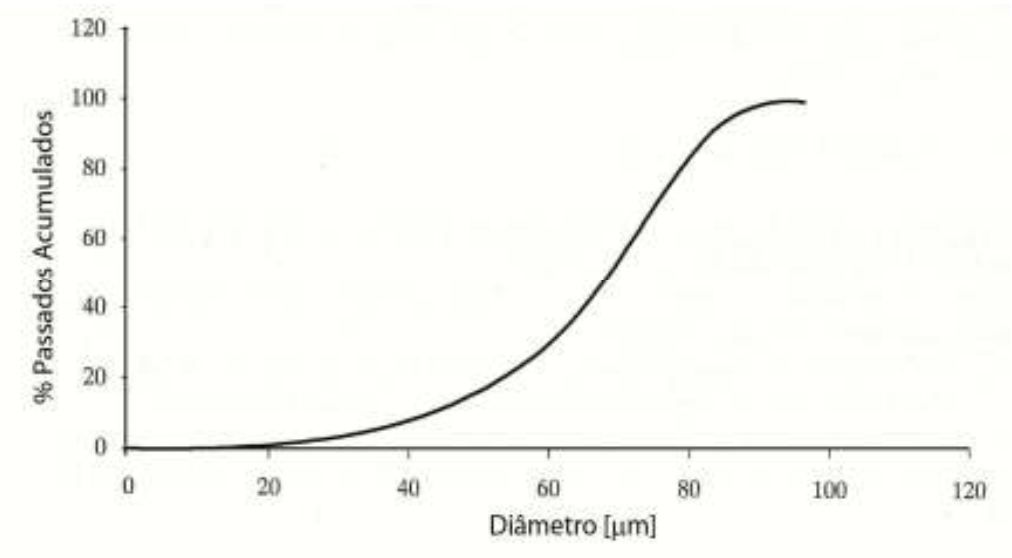

Figura 1. Curva de distribuição granulométrica do agregado utilizado na composição das caldas de injecção (Martins, 2008)

➢ Aditivos

Foram utilizados dois tipos de metacaulino. Na argamassa A utilizou-se o metacaulino EccoPozz e na argamassa B e C o metacaulino PoleStar450.

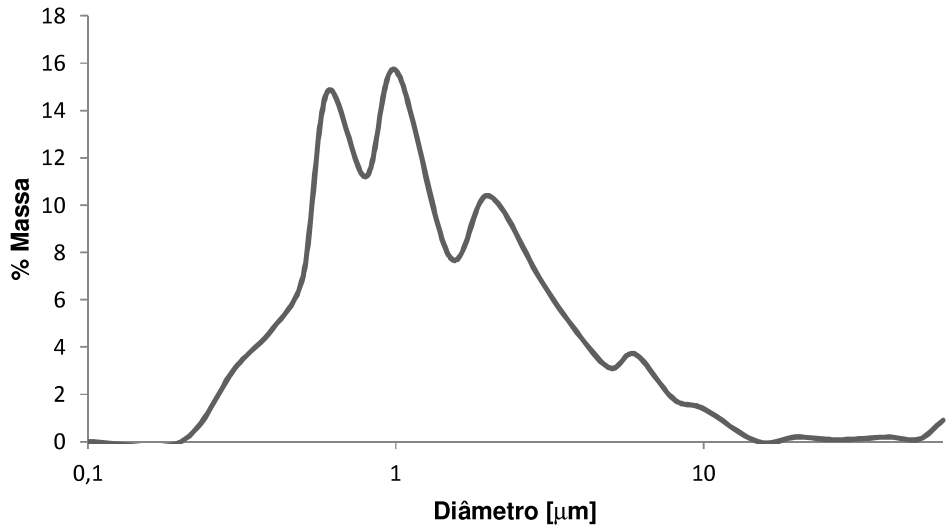

Figura 2. Curva de distribuição granulométrica do metacaulino PoleStar450

Na tabela 6 apresenta-se a análise química por fluorescência de raios-X (FRX) do metacaulino, de designação comercial PoleStar450.

Tabela 6 – ANÁLISE QUÍMICA FRX DO METACAULINO POLESTAR450

PoleStar 450: análise química FRX (elementos maiores, %)								
SiO_2	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**MgO**	**CaO**	**K_2O**	**TiO_2**	**P_2O_5**	**L.O.I.**
52,18	45,48	0,47	0,02	0,03	0,09	0,97	0,08	0,93

➢ Adjuvantes

Como fluidificante foi utilizado o gluconato de sódio ($C_6H_{11}NaO_7$), tendo o copolímero Acril 33 sido utilizado como agente adesivo e como agente retentor de água foi utilizado o Metilo Hidroxopropil de Celulose (MHPC) da Walocel (MK 100000PF30).

5.2.2. Dosagem dos constituintes do *grout*

Neste trabalho foram ensaiadas três argamassas de cal com o objectivo de restituir a aderência em revestimentos antigos.

Respeitando o traço indicado anteriormente, parte da cal introduzida na mistura é substituída pelo aditivo metacaulino nas percentagens 10, 20 e 33 por cento em relação à quantidade base de cal.

A argamassa A já tinha sido desenvolvida anteriormente por Martins (2008) e tinha como constituição base 13,6 % de cal aérea, 6.9% de metacaulino EccoPozz e 79,5% da areia SS-160 relativamente ao peso global dos sólidos.

A argamassa B é constituída por 18,45% de cal aérea, 2,05% de metacaulino PoleStar450 e 79,5% da areia SS-160 relativamente ao peso global dos sólidos.

A argamassa C é constituída por 16,4% de cal aérea, 4,1% de metacaulino PoleStar450 e 79,5% da areia SS-160 relativamente ao peso global dos sólidos.

As três argamassas têm ainda na sua composição gluconato de sódio, Acril 33 e éter de celulose na quantidade de 0,5% cada, e 60 % de teor de água de amassadura relativamente ao peso global dos sólidos.

A tabela a seguir apresenta os materiais constituintes e a sua percentagem em massa de cada argamassa de *grout*.

Tabela 7 – CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE INJECÇÃO (% em massa)

Materiais Constituintes	Argamassa A (%)	Argamassa B (%)	Argamassa C (%)
Cal aérea CL90	13,6	18,5	16,4
SS-160	79,5	79,5	79,5
Metacaulino EccoPozz	6,9	-	-
Metacaulino PoleStar450	-	2,1	4,1
Éter de celulose	0,5	0,5	0,5
Gluconato de sódio	0,5	0,5	0,5
Acril 33	0,5	0,5	0,5
*Metacaulino (em % de cal)	33,3	10	20

5.3. Confecção dos provetes

Para cada argamassa foram confeccionados 6 provetes prismáticos com uma percentagem de água de amassadura de 35% e outros 6 com 40 %. Ao todo foram realizados 36 provetes em forma de prisma. Os provetes tem dimensões 40 mm x 40 mm x 160 mm e foram preparados com o objectivo de serem caracterizados quanto à sua retracção, absorção capilar, resistência à compressão e flexão, aos 28 dias.

Quanto aos provetes que simulam o descolamento entre camadas, foram injectados 4 provetes com cada tipo de argamassa com 60 % de água de amassadura. Ao todo foram realizados 12 provetes de dimensões 30 x 20 x 7cm. Estes provetes, que no presente trabalho se denominam "tijolos", foram preparados com o objectivo de serem caracterizados, aos 28 dias em termos de resistência de aderência e absorção capilar.

5.3.1. Preparação das argamassas

O procedimento de preparação das argamassas foi o seguinte:

- Pesou-se a cal CL90, o metacaulino e a areia SS-160 para um saco plástico limpo;
- Numa balança analítica, pesou-se o éter de celulose, o gluconato de sódio e, com a ajuda de uma seringa, o Acril 33;
- Introduziu-se o éter de celulose e o gluconato se sódio no saco contendo a argamassa base, fechou-se e agitou-se vigorosamente;
- Pesou-se a quantidade de água já na taça de amassadura, e adicionou-se o Acril 33 homogeneizando a solução;
- Verteu-se cuidadosamente o conteúdo do saco plástico, para evitar perdas de material, para dentro da taça de amassadura;
- Com a ajuda de espátula, misturou-se primeiro manualmente;
- Colocou-se a taça na misturadora e procedeu-se à mistura a uma velocidade de cerca de 60 rpm por cerca de 30 s;
- Desligou-se a misturadora e com uma espátula condicionou-se o material no centro da taça;
- Voltou-se a colocar a taça na misturadora durante 60 s à mesma velocidade.

Na tabela 8, 9 e 10 são apresentadas os materiais e as respectivas quantidades utilizadas para confecção de 500g de cada argamassa.

Tabela 8 – CONSTITUIÇÃO DA ARGAMASSA A

Material Constituinte		Quantidade
Cal aérea CL90		68,0g
SS-160		397,5g
Metacaulino EccoPozz		34,5g
Metacaulino PoleStar450		-
Éter de celulose		2,5g
Gluconato de sódio		2,5g
Acril 33		2,5g
Água	Prov. Prismáticos	35% →175ml 40%→ 200ml
	Prov. "Tijolos"	60% →300ml

Tabela 9 – CONSTITUIÇÂO DA ARGAMASSA B

Material Constituinte		Quantidade
Cal aérea CL90		92,25g
SS-160		397,5g
Metacaulino EccoPozz		-
Metacaulino PoleStar450		10,25g
Éter de celulose		2,5g
Gluconato de sódio		2,5g
Acril 33		2,5g
Água	Prov. Prismáticos	35% →175ml 40%→ 200ml
	Prov. "Tijolos"	60% →300ml

Tabela 10 – CONSTITUIÇÂO DA ARGAMASSA C

Material Constituinte		Quantidade
Cal aérea CL90		82,0g
SS-160		397,5g
Metacaulino EccoPozz		-
Metacaulino PoleStar450		20,5g
Éter de celulose		2,5g
Gluconato de sódio		2,5g
Acril 33		2,5g
Água	Prov. Prismáticos	35% →175ml 40% → 200ml
	Prov. "Tijolos"	60% →300ml

5.3.2. Elaboração dos provetes simulando descolamento entre camadas

Os provetes foram realizados de forma a simular em laboratório o descolamento entre camadas, e a sua confecção foi baseada nos estudos realizados por Martins (2008), Tavares (2009) e Rodrigues (2004).

O procedimento de elaboração dos "tijolos" foi o seguinte:

- Com a ajuda de um pincel de caiar realizou-se um chapisco de argamassa. Esta argamassa era constituída por cal aérea CL190 e areia do rio no traço 1:3. Foi efectuado o teste de espalhamento segundo a norma EN 1015-3 onde se obteve um espalhamento de 210 mm;

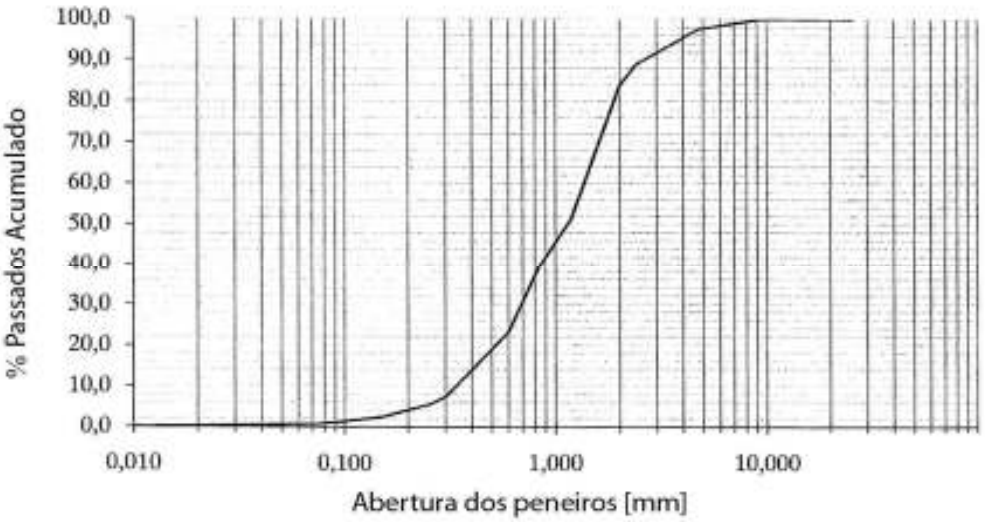

Figura 3. Curva de distribuição granulométrica da areia do rio (Martins, 2008)

Figura 4. Mesa de espalhamento

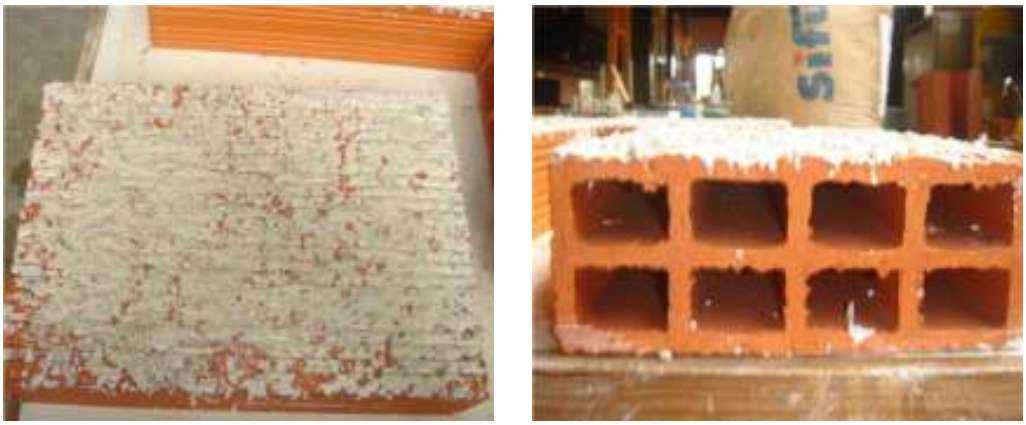

Figura 5. Camada de chapisco

- Três dias depois, após se ter previamente limpo e humedecido o suporte aplicou-se, com a ajuda de uma colher de pedreiro, uma camada de 1,5 cm de emboço com um traço 1:3 e espalhamento de 190 mm; com uma talocha promoveu-se rugosidade na superfície;

Figura 6. Camada de emboco

- Passados quatro dias, a camada de emboço foi limpa e humedecida e foram introduzidas duas placas de acrílico com 60 mm de largura e aproximadamente 5 mm de espessura cada (comprimento variável). É de salientar que se utilizou pó de pedra e descofrante entre as placas, com o objectivo de, posteriormente, a sua remoção ser facilitada;

Figura 7. Introdução das placas de acrílico

- Com a ajuda de uma colher de pedreiro colocou-se a segunda camada de argamassa com traço 1:3 e espalhamento 180, numa espessura de aproximadamente 2 cm; com uma talocha e uma espátula alisou-se a superfície. As argamassas devem ser

aplicadas com firmeza e não muito alisadas para que não haja grande afluência de finos à superfície;

Figura 8. Segunda camada de argamassa

- Após três dias de cura os provetes foram colocados numa sala condicionada a 21 ºC e 65 % HR durante oito dias. Três dias depois, as placas foram cuidadosamente retiradas, retirando-se primeiro a placa de baixo;

Figura 9. Provete pronto para injecção do *grout*

- Depois de prontos, os provetes foram colocados novamente na sala condicionada, onde permaneceram por 40 dias.

Realizados os provetes, aplicou-se a calda de cal nos vazios da seguinte forma:

- Previamente, com a ajuda de um espeto promoveu-se alguma rugosidade na parte superior dos vazios;
- Os vazios foram limpos e humedecidos com uma solução de água e álcool (1:1), com o fim de o suporte não absorver demasiada água do *grout*;

Figura 10. Preparação do orifício entre camadas

- Com o recurso a uma seringa injectou-se em todo o vazio a calda de cal, sendo a primeira quantidade mais líquida do que as seguintes (Tavares, 2009);

Figura 11. Injecção das caldas de cal

Figura 12. Provetes tipo "tijolo" finalizados

- Os provetes permaneceram durante 28 dias na sala condicionada.

5.3.3. Elaboração dos provetes prismáticos

Para determinar a água de amassadura a utilizar na confecção dos provetes, retiraram-se previamente amostras do *grout* passados alguns minutos depois de este ser injectado nos provetes tipo tijolo. Posteriormente colocaram-se as amostras nas caixas de petri e estas na estufa durante 48 horas.

Dados os resultados obtidos pelo procedimento acima, adoptou-se 35% e 40% como a percentagem de água de amassadura. A utilização destas quantidades de água justifica-se pela diversidade da argamassa de suporte e procura de melhoramento da trabalhabilidade do *grout*.

Os moldes prismáticos foram previamente limpos e lubrificados com óleo descofrante. Estes foram realizados segundo a norma NP EN 1015- 11, para argamassas de cal aérea, sem recurso à utilização de gaze absorvente no fundo do molde.

Figura 13. Provetes tipo prismas

Ao fim de 3 dias o molde foi desapertado, retirando-se as paredes internas e eliminando assim a pressão a que os provetes se encontravam sujeitos. Depois de prontos, os provetes foram desmoldados e, imediatamente após, mantidos na sala acondicionada até à data dos ensaios, ou seja aos 28 dias.

Salienta-se o facto de a desmoldagem ser feita de forma extremamente cuidadosa para não haver danos nos provetes.

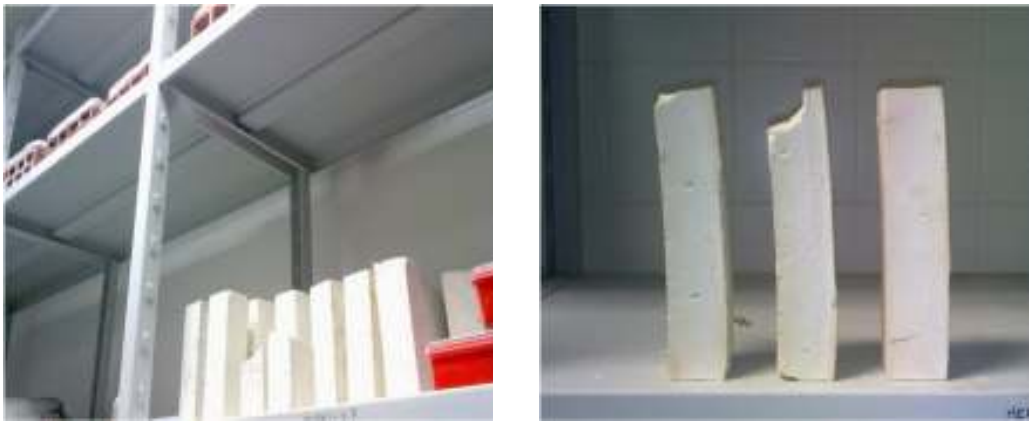

Figura 14. Provetes na sala de condicionamento

5.4. Ensaios realizados

Foram efectuados os seguintes ensaios:

- Ensaio de reologia;
- Determinação da retracção;
- Absorção de água por capilaridade;
- Ensaio de resistência à flexão;
- Ensaio de resistência à compressão;
- Permeabilidade à água sob baixa pressão com Tubos de Karsten;
- Ensaio de Aderência;

Todos os ensaios foram realizados em laboratório e estão seguidamente descritos.

5.4.1. Ensaio de reologia

O estudo das propriedades reológicas é imprescindível para a caracterização das argamassas no estado fresco e permite estabelecer propriedades que se adeqúem a cada tipo de aplicação (H.Paiva, 2005).

Este ensaio tem como objectivo apurar o desempenho das argamassas de cal em estado fresco. Através de um Reómetro, especificamente desenhado para medir o comportamento reológico de argamassas (Viskomat NT, Schleibinger), analisou-se a relação entre o fluxo e a deformação dos *grouts*, ou seja, este ensaio permitiu medir a capacidade das caldas de cais preencherem os vazios existentes entre as camadas de forma a colmatar a falta de aderência.

Segundo H.Paiva (2005), o Viskomat (figura 15) é constituído por um copo cilíndrico onde é colocada a amostra previamente misturada sobre um suporte de rotação variável. Uma pá concêntrica com geometria adequada está montada numa cabeça que mede o torque, pois à medida que o copo roda, a resistência viscosa que a argamassa oferece ao fluxo através das lâminas da pá origina um torque que é continuadamente registado electronicamente ao longo de toda a duração do ensaio. O Reómetro utilizado é o apropriado para argamassas com partículas de dimensão não superior a 2mm.

Método de Ensaio

- Misturou-se previamente cada calda de cal na batedeira com a ajuda de uma pá, de forma a molhar todo o pó;
- Colocou-se o copo de formato cilíndrico contendo a calda de cal, num suporte de rotação variável, através de uma pá concêntrica e geometria variável. Posteriormente o copo foi sujeito a uma rotação com velocidade programada (H. Paiva, 2005);
- Ao rodar, a argamassa apresenta uma resistência viscosa ao fluxo, através das lâminas da pá, originando um torque (T) que foi registado continuamente ao longo de toda a duração do ensaio (H. Paiva, 2005);
- O ensaio foi realizado a uma velocidade constante, a 0 rpm, ao longo de cerca de 150 minutos, embora com subidas de velocidade periódicas, de 15 em 15 minutos, em que a velocidade cresce até 160 rpm em 30 segundos e logo a seguir diminui no mesmo período até às 0 rpm iniciais.

Figura 15. Reómetro Viskomat NT da Universidade de Aveiro.

Através da variação do torque (T) em função da velocidade de rotação (N), foram constituídas curvas de fluxo. A partir da utilização do modelo de Bingham para argamassas ($T = g + hN$), é possível determinar os valores das constantes h e g que são parâmetros directamente proporcionais à viscosidade plástica e à tensão de cedência. O valor destas

constantes, para cada amostra, também podem ser obtidas directamente através duma função do programa informático pertencente ao Viskomat. (H. Paiva et al., 2006).

5.4.2. Determinação da Retracção

Este ensaio tem como objectivo o controlo da retracção livre de cada *grout*.~

Método de Ensaio

- Com a ajuda de uma craveira, mediram-se as dimensões dos 3 provetes prismáticos de cada argamassa, após secagem;
- Comparou-se os valores da largura inicial (40 mm) do molde com as dos provetes após secagem.

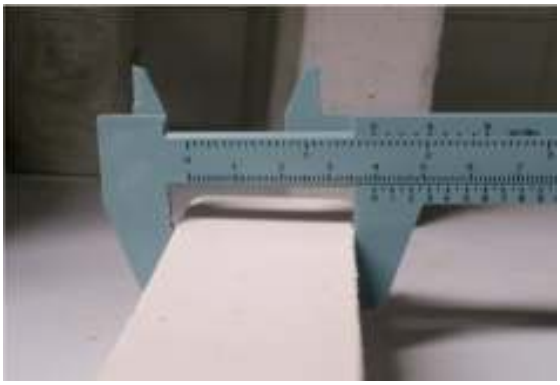

Figura 16. Medição da retracção livre dos provetes das argamassas de injecção

Este ensaio foi realizado nos provetes prismáticos contendo 35% e 40% de água de amassadura.

5.4.3. Absorção de água por capilaridade

Este ensaio foi realizado segundo a norma EN 1015 – 18:2002, e tem como objectivo apurar a capacidade do *grout* em absorver água por capilaridade.

Método de Ensaio

- De acordo com a Norma colocaram-se 3 provetes de cada composição, resultantes do ensaio à flexão, em contacto com a água;
- Registou-se o peso dos provetes secos e a cada 5 minutos de imersão, até cumpridos 90 minutos;

Figura 17. Ensaio de absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade é obtida através da curva de absorção capilar que corresponde ao gráfico que exprime a quantidade de água absorvida por unidade de área da base do provete (em ordenadas [kg/m^2]), em função da raiz quadrada do tempo decorrido (em abcissas [min $^{1/2}$]).

O coeficiente de absorção de água por capilaridade C [kg/m^2.min^{0,5}] é a massa de água absorvida por unidade de tempo, através de uma superfície unitária de uma amostra seca, quando esta é colocada em contacto com uma camada de água. É retirado da relação (m/A)=C.t$^{0.5}$, onde m é a massa de água absorvida (kg), A é área de contacto entre a amostra a a camada de água (m^2) e t o tempo de duração do ensaio (horas) (H. Paiva et al., 2006b).

Foi determinado para cada provete o coeficiente de absorção de água por capilaridade, sendo o valor final a média dos 3 provetes (Cm).

Este ensaio foi realizado nos provetes contendo 35% e 40% de água de amassadura.

5.4.4. Avaliação das propriedades mecânicas

Este ensaio teve como objectivo a avaliação da resistência mecânica à flexão e à compressão dos *grouts* sobre os provetes tipo prisma e foi preconizado segundo a Norma EN 1015:11.

Método de Ensaio de Resistência à Flexão

- Utilizou-se uma máquina universal de tracção que cumpria os requisitos da norma, equipada com uma célula de carga de 3 KN;
- O equipamento impõe um deslocamento constante de 1mm/min até à rotura do provete;
- Cada provete foi colocado na máquina, centrado e com o eixo longitudinal perpendicular ao dos apoios;
- Desceu-se o braço da máquina até que estivesse em contacto com a face superior do provete;
- Aplicaram-se a meio vão cargas uniformemente crescentes, até se dar a rotura do provete;
- Registaram-se as respectivas forças de rotura;
- Procedeu-se ao cálculo da média dos três valores e ao cálculo da resistência máxima de flexão (R_f);

$$R_f = (3 \times F \times l) / (2 \times b \times d^2)$$

Sendo:

R_f – resistência à flexão (N/mm2)

b – espessura do provete (mm)

d – altura do provete (mm)

l – distância entre apoios inferiores (mm)

F – carga aplicada ao centro do prisma na rotura (N)

Figura 18. Ensaio de Flexão

Método de Ensaio de Resistência à Compressão

- Utilizou-se uma máquina universal de compressão que cumpria os requisitos da norma, equipada com uma célula de carga de 3 KN;
- O equipamento impõe um deslocamento constante de 1mm/min até à rotura do provete;
- Colocaram-se os meios prismas resultantes do ensaio de flexão num dispositivo de compressão, que assegura uma área de contacto de 40 mm x40 mm com as superfícies que transmitem carga perpendicular ao eixo de base de apoio;
- Registaram-se as respectivas forças de rotura;
- Procedeu-se ao cálculo da média dos três valores e ao cálculo da resistência máxima à compressão (R_c);

$$R_c = F_c / S$$

Sendo:

R_c – Resistência à compressão (N/mm^2)

F_c – Carga máxima de rotura (N)

S – Área dos pratos (1600 mm^2)

Figura 19. Ensaio de Compressão

Tanto na determinação da resistência à flexão como à de compressão, foram ensaiados 3 provetes com 35% de teor de água e 3 provetes com 40% de teor de água.

5.5. Permeabilidade à água sob baixa pressão com Tubos de Karsten

Este ensaio teve como objecto a avaliação da permeabilidade à água dos três *grouts* com 110 dias e das respectivas argamassa de reboco, bem como do *grout* A e argamassa de reboco do mesmo provete com 2 anos.

Método de Ensaio

- Colocou-se a superfície do bordo do tubo de vidro em contacto com a superfície e vedou-se com mástique, pressionando contra a superfície do provete tijolo de forma a promover a estanquicidade;
- Após o endurecimento da mástique, encheu-se o tubo de água até ao nível máximo, através da abertura superior;
- Registou-se o tempo de abaixamento do nível da água;

- De imediato, voltou-se a encher o tubo até à marca máxima e registou-se o restante tempo de abaixamento;

Figura 20. Ensaio de permeabilidade de água sob baixa pressão com Tubos de Karsten

5.6. Ensaio de aderência

Este ensaio tem como objectivo avaliar a resistência de aderência das argamassas, realizado sobre provetes com simulação de descolamento entre camadas segundo a norma EN 1015 -12:2000.

O ensaio permite também a avaliação do tipo de rotura obtida, podendo esta ser do tipo coesivo ou adesivo. A rotura coesiva dá-se no interior da argamassa (a resistência desta é inferior à do suporte), ou no suporte (onde a resistência da argamassa é superior à do suporte), já a rotura adesiva ocorre na interface entre a argamassa e o suporte (o valor obtido será o equivalente à aderência) (EMO, 2001).

Os provetes ensaiados foram aqueles contendo o *grout* A, *grout* B e *grout* C, e apenas argamassa de reboco; todos foram ensaiados aos 28 dias.

Para efeitos de comparação ensaiaram-se também provetes contendo *grout* A com idade aproximada de 2 anos, provenientes do trabalho realizado por Martins (2008).

Método de Ensaio

- Com a ajuda de um marcador, e tendo como referência a pastilha que iria ser colada, definiu-se a zona de incisão;
- Com um prego e uma lima realizou-se manualmente a incisão na profundidade da argamassa;
- Retirou-se o material escavado com a ajuda de um pincel e um aspirador;
- Procedeu-se à colagem da pastilha no provete com uma cola epóxida;
- Encaixou-se o dinamómetro e ajustou-se às pastilhas, colocando o indicador de escala na posição 0. Deu-se início ao ensaio;
- Registam-se os valores da força máxima exercida e o tipo de rotura;
- Observou-se a zona preenchida com a calda de cal com o fim de verificar a presença de vazios, fissuras e carbonatação.

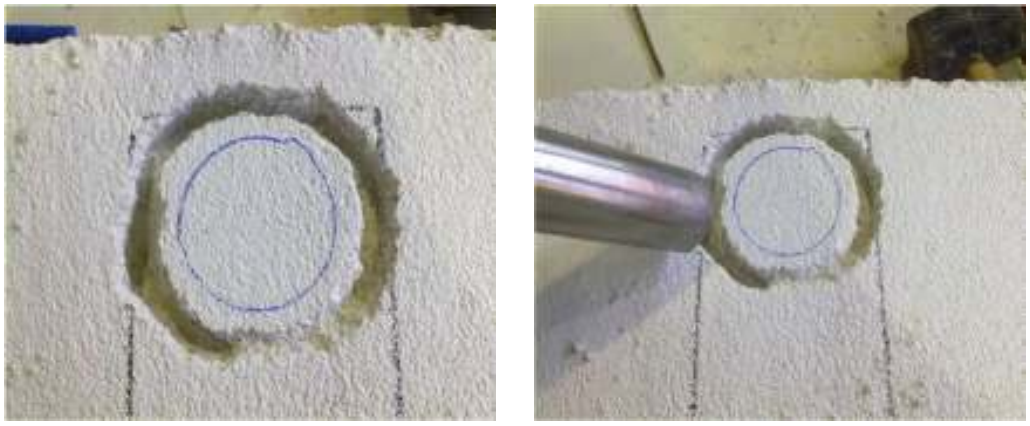

Figura 21. Realização manual da incisão, para realização do ensaio

Figura 22. Colagem das pastilhas

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

No presente capítulo serão apresentados e analisados os resultados obtidos dos ensaios realizados.

No estado fresco analisou-se o comportamento reológico das três argamassas de *grout*, avaliando-se parâmetros como a tensão de cedência e a viscosidade.

As propriedades analisadas, aos 28 dias, foram a retracção livre, absorção de água por capilaridade, porosidade, resistência à flexão e compressão nos provetes prismáticos. Nos provetes "tijolo" avaliou-se a permeabilidade, resistência ao arrancamento e observação do preenchimento com argamassa de *grout* na zona de descolamento. Aquando da injecção do *grout* foi também possível constatar a facilidade de injecção.

É importante referir que os valores obtidos dos ensaios sobre os *grouts,* nomeadamente a resistência à compressão e flexão, bem como a capilaridade, foram comparados com os valores de referência para as características mecânicas das argamassas de substituição estabelecidos em Veiga (2005). Apesar dos *grouts* e as argamassas de substituição serem produtos diferentes, não se pode ignorar que os primeiros devem ser compatíveis com o suporte e ter propriedades da mesma ordem de grandeza da envolvente em que estão inseridos. Quanto ao ensaio de retracção e ensaio de aderência, os resultados foram relacionadas com os valores exigidos para uma argamassa de *grout* definidos em Tavares et al. (2007).

6.1. Reologia

O estudo do comportamento reológico foi iniciado com medidas no reómetro (Viskomat) efectuadas para a argamassa A, argamassa B e argamassa C.

Na figura 23 apresenta-se as curvas de variação do torque em função do tempo para a argamassa B. Este perfil em patamar foi utilizado para avaliar o comportamento reológico ao longo do tempo para a argamassa referida.

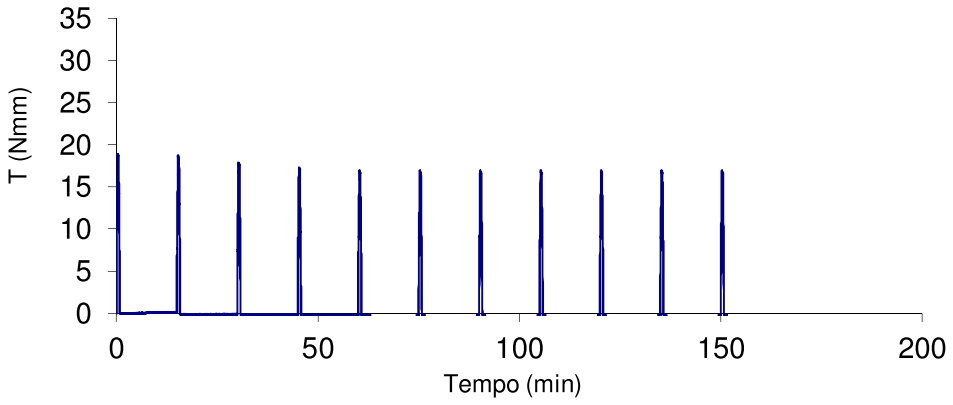

Figura 23. Variação do torque em função do tempo da argamassa B

Pode-se observar que aos 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 e 150 minutos existe um acréscimo do valor de torque, isto deve-se ao facto de a velocidade ser elevada até aos 160 rpm e sucessivamente retornar a 0 rpm. O valor de torque a velocidade máxima é semelhante ao longo do ensaio, o que significa que o material poderá ser utilizado por um longo intervalo de tempo.

Da figura anterior podemos avaliar onze curvas de fluxo correspondentes aos tempos referidos. Essas curvas de fluxo são representações da variação do torque em função da velocidade de rotação e permitem avaliar o tipo de comportamento e, em particular, verificar se o modelo Binghamiano se ajusta a este tipo de materiais (H.Paiva, 2005). Na figura 24, ilustra-se como exemplo o comportamento de fluxo da argamassa B aos 15 minutos, este é consistente com o modelo de Bingham, sobretudo quando se considera a curva com velocidade descendente.

A figura 25 mostra a determinação dos parâmetros h e g na zona descendente da curva de fluxo (figura 24), a partir da equação T = g + hN. Verifica-se que a recta se ajusta ao modelo Bingham pois apresenta um factor de correlação razoável (figura 25).

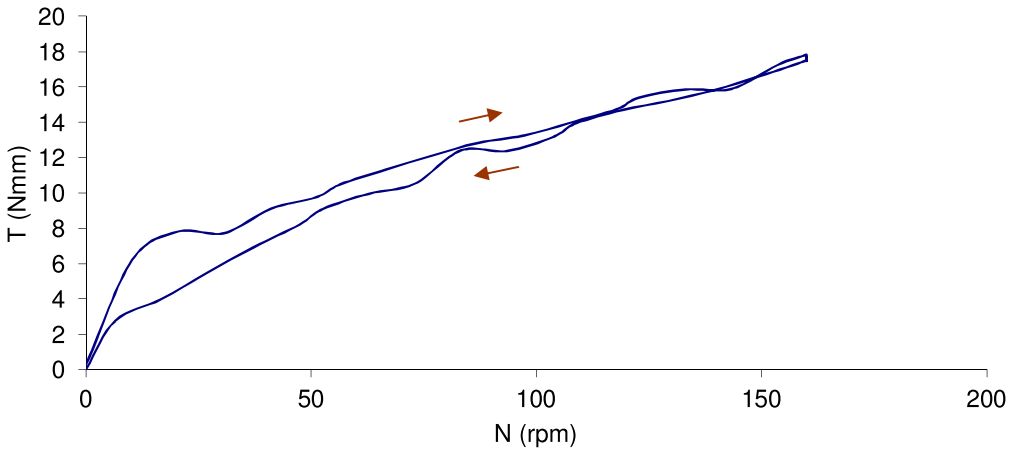

Figura 24. Curva de fluxo obtida com a argamassa B para o tempo de ensaio 15 minutos; as setas indicam a velocidade ascendente e descendente

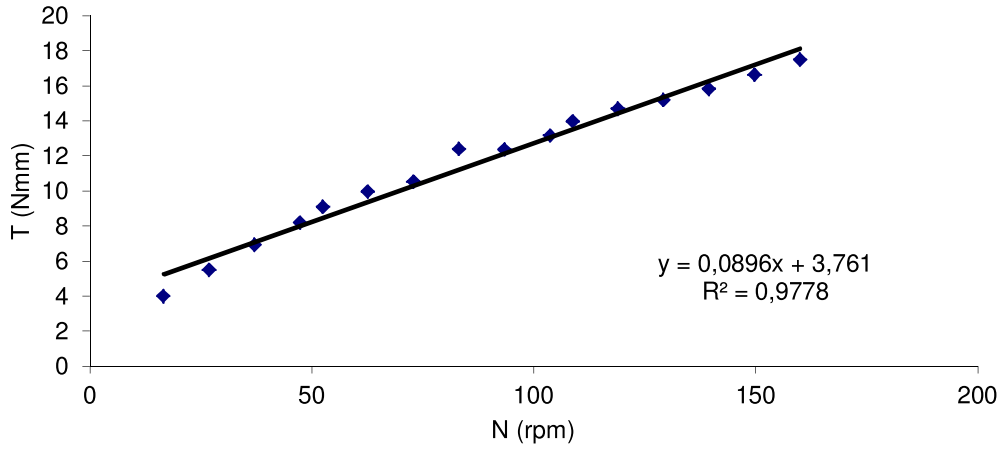

Figura 25. Determinação dos parâmetros reológicos da argamassa B para o tempo de ensaio 15 minutos, de acordo com o modelo de Bingham

Este estudo foi realizado de forma similar também para as argamassas de grout A e C, tendo-se obtido valores de torque semelhantes às da argamassa B.

Com base em diferentes trabalhos práticos, as argamassas de *grout* comerciais (PMLA e PLMI) foram consideradas como referência para definir o comportamento reológico adequado a esta aplicação. Desta forma, interessa que em qualquer formulação desenvolvida, os valores de h e g se encontrem dentro do intervalo de valores apresentado pelas argamassas padrão. As argamassas PMLA e PMLI, são argamassas pré doseadas, cujos ligantes são a cal hidratada e a cal hidráulica, respectivamente. Estas argamassas padrão foram preparadas utilizando-se um teor de água de amassadura de 60%.

Nas figuras 26, 27, 28 e 29 pode-se observar o comportamento dos parâmetros g e h, em função do tempo de ensaio, para as diferentes argamassas de *grout* ensaiadas.

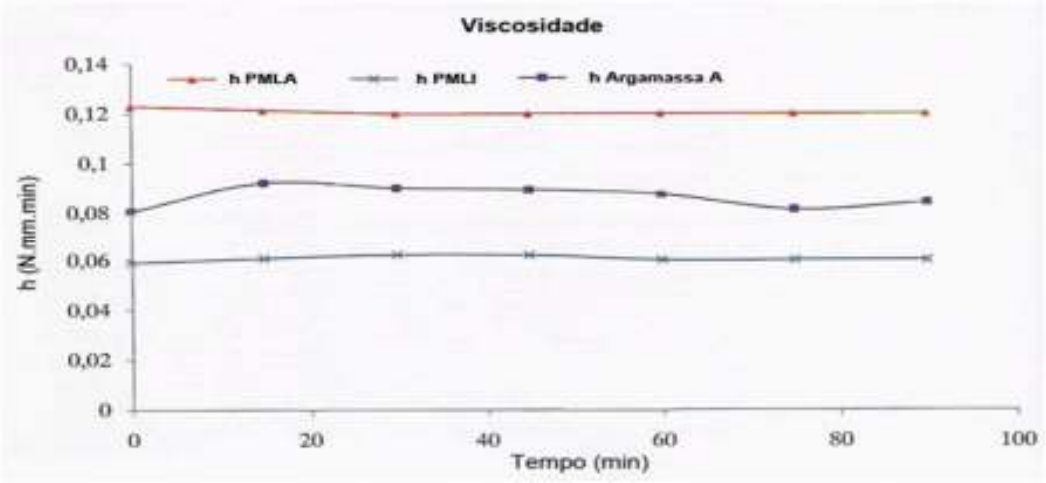

Figura 26. Viscosidade da argamassa de *grout* A (Martins, 2008)

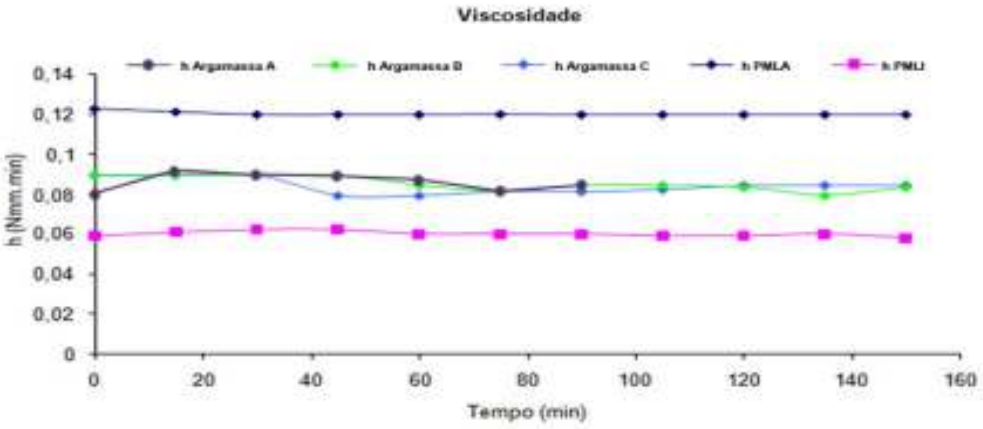

Figura 27. Viscosidade da argamassa de *grout* A, B e C

A argamassa A apresenta uma viscosidade sem grandes variações que ronda o valor de 0,09.

Para a argamassa B e C, até aos 30 minutos, a viscosidade tem o mesmo valor. Após os 30 minutos a argamassa C sofre um decréscimo, mas aos 80 minutos os valores das duas argamassas convergem, mantendo-se depois sem grandes variações até ao fim do ensaio.

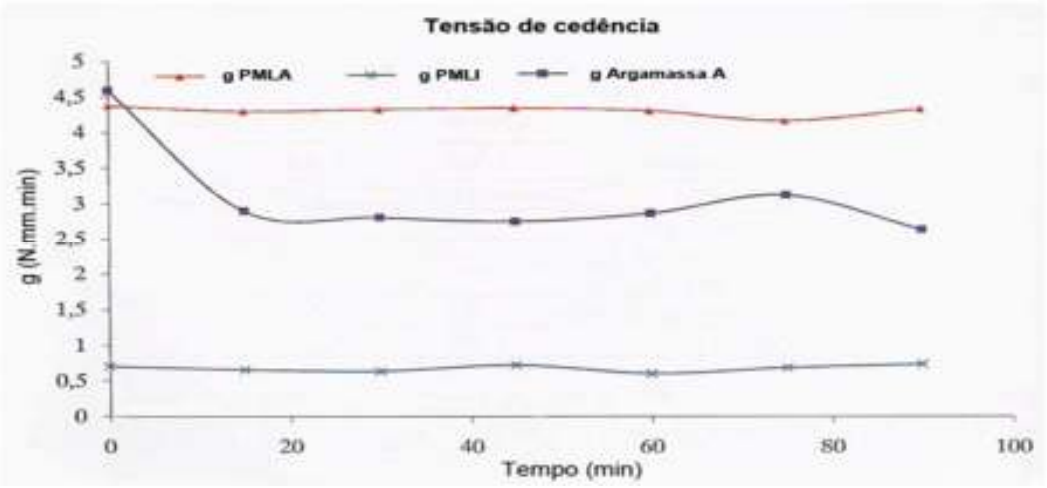

Figura 28. Tensão de cedência da argamassa de *grout* A (Martins, 2008)

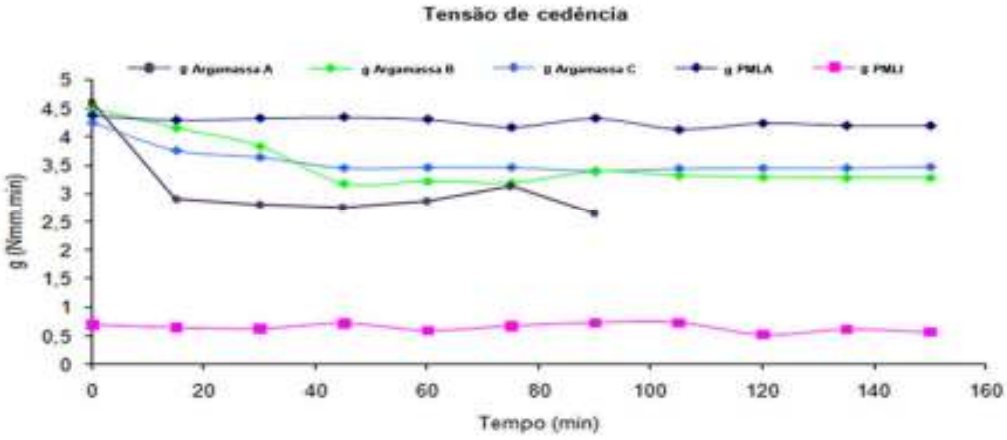

Figura 29. Tensão de cedência da argamassa de *grout* A, B e C

A argamassa A sofre um elevado decréscimo da tensão de cedência até aos 18 minutos. Após isto mantêm-se sem grandes variações até ao final do ensaio. A argamassa B regista um decréscimo até aos 45 minutos enquanto a argamassa C apresenta um valor de tensão mais constante ao longo do tempo. Ambas as argamassas aproximam-se do limite superior definido pela argamassa PMLA.

Embora as três argamassas de *grout* tenham apresentado valores semelhantes para os parâmetros analisados, a argamassa que apresentou maior valor de viscosidade e maior valor de tensão de cedência foi a argamassa B.

Dos 0 aos 40 minutos (intervalo considerável no que respeita à trabalhabilidade) observou-se que, aparentemente aumentando o teor em metacaulino nos *grouts* parece diminuir o valor dos parâmetros reológicos.

As argamassas de injecção ensaiadas apresentam um comportamento reológico semelhante entre si e dentro do intervalo considerado óptimo para o tipo de utilização pretendido.

A argamassa de *grout* que poderá apresentar um comportamento menos satisfatório na injecção poderá ser a argamassa B, devido a mostrar valores superiores de viscosidade e tensão de cedência. Esta necessitará de uma maior força inicial para começar a fluir (tensão de cedência) e durante o processo de injecção do vazio entre camadas, poderá não preencher de forma tão eficaz como os outros *grouts* (viscosidade).

6.2. Facilidade de Injecção

Durante todo o período que decorreu o processo de injecção, os três *grouts*, onde estava incluído o *grout* B de maior viscosidade e tensão de cedência, apresentaram-se com uma fluidez satisfatória de modo que foram facilmente injectáveis. Posteriormente no ensaio de aderência, pôde-se observar que as caldas preencheram toda a cavidade sem formação de vazios.

Figura 30. Observação do preenchimento das cavidades

6.3. Retracção livre

Nas tabelas 11 e 12 apresentam-se os valores da retracção livre na largura nas argamassas contendo 35 e 40% de água.

Tabela 11 – RETRACÇÃO LIVRE DAS ARGAMASSAS DE *GROUT* COM 35%W

Amostra	Largura média (mm)	Retracção (%)
Argamassa A	39,3	1,75
Argamassa B	39,1	2,25
Argamassa C	39,5	1,25

Tabela 12 – RETRACÇÃO LIVRE DAS ARGAMASSAS DE *GROUT* COM 40%W

Amostra	Largura média (mm)	Retracção (%)
Argamassa A	39,1	2,25
Argamassa B	39,2	2,00
Argamassa C	39,2	2,00

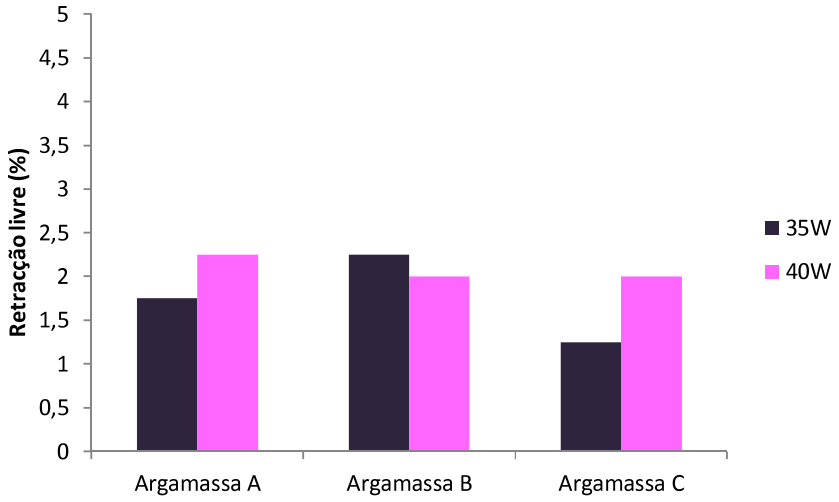

Figura 31. Retracção livre da largura dos provetes com 35 e 40% água amassadura

A retracção livre do comprimento e largura foi perceptível ao nível visual. No entanto desprezaram-se os valores da retracção livre do comprimento, pois devido ao empeno derivado da perda de humidade diferencial ocorrida nos provetes (figura 14), não se achou correcta a determinação desta característica nesta direcção.

Na avaliação da retracção livre na largura, esta foi ligeiramente superior nas argamassas contendo 40 % de teor água de amassadura. Neste caso a de maior retracção foi a argamassa A, seguindo-se a B e C de retracção aproximadamente igual. Para 35% de teor de água a mais

retráctil foi a argamassa B e posteriormente a argamassa A e C. Não são observadas variações na retracção livre, devido à influência da variação em teor e tipo do aditivo metacaulino.

Em todas as argamassas de *grout* a contracção volumétrica foi claramente inferior a 4%, valor limite segundo Tavares et al. (2007).

6.4. Avaliação visual da porosidade

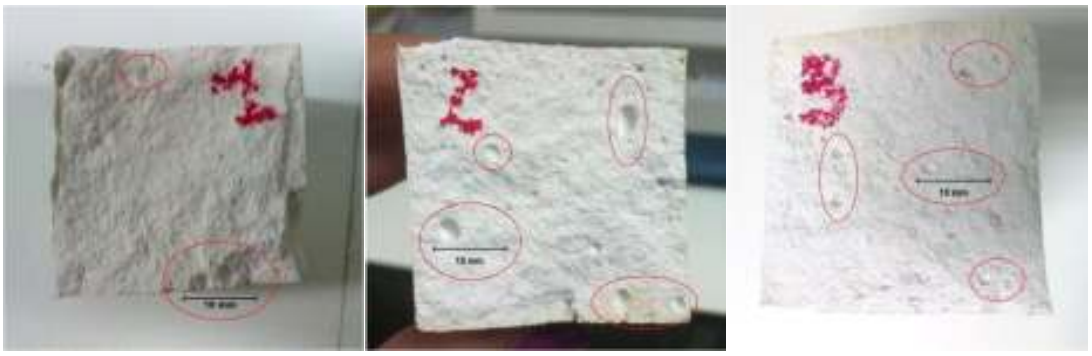

Figura 32. Observação visual da porosidade dos provetes com 35% de água de amassadura

Figura 33. Observação visual da porosidade dos provetes com 40% de água de amassadura

Da avaliação macroscópica dos provetes ensaiados, resulta a observação de um maior número de poros nas argamassas com 35% de água de amassadura. Embora estando presentes em todas as argamassas de *grout*, os poros não só se apresentam em menor quantidade como se revelam em menores dimensões nas argamassas com maior teor em água. Estes

macroporos têm uma grande variabilidade de tamanho, chegando aos 5mm. É frequente a presença de poros com diâmetros inferiores a 1mm, nas argamassas com 35% de água.

Não foram observadas diferenças significativas entre provetes com o mesmo teor de água de amassadura.

Pode-se atribuir ao aumento da trabalhabilidade, que adveio do aumento do teor em água, o facto de os poros estarem presentes em menor número e em menor tamanho quando se trata de argamassas de injecção com formulações contendo 40% de teor de água de amassadura. O teor de 35% de água de amassadura demonstra-se insuficiente em termos de gerar uma trabalhabilidade e compacidade adequada.

6.5. Capilaridade

Com base nas curvas de absorção de água por capilaridade, foram determinados os coeficientes de capilaridade cujos valores são apresentados nas tabelas 13 e 14.

Tabela 13 – COEFICIENTE DE CAPILARIDADE DAS ARGAMASSAS DE *GROUT* COM 35% W

Amostra	Coeficiente de Capilaridade (C) ($kg/m^2.h^{o,5}$)
Argamassa A	7,23
Argamassa B	6,68
Argamassa C	5,97

Tabela 14 – COEFICIENTE DE CAPILARIDADE DAS ARGAMASSAS DE *GROUT* COM 40% W

Amostra	Coeficiente de Capilaridade (C) ($kg/m^2.h^{o,5}$)
Argamassa A	8,34
Argamassa B	8,80
Argamassa C	6,68

Para as argamassas com 35% de água de amassadura, a argamassa A é a que tem maior coeficiente de capilaridade, seguindo-se a B e C. Quando a percentagem de água é de 40%, a argamassa B é a que apresenta maior valor de coeficiente de capilaridade, seguindo-se a A e a C.

Como podemos constatar através dos resultados do ensaio de capilaridade e da análise visual da porosidade, não existe aparente relação entre estas duas propriedades. A absorção de água por capilaridade é dependente da microestrutura interna na argamassa e da porosidade aberta (Rodrigues, 2004; Monteiro, 2008). De modo que estudos de porosimetria, ou seja, sobre a distribuição e tamanho de poros nestas argamassas terão de ser desenvolvidas no futuro para melhor compreender esta relação.

Segundo Veiga (2005), o intervalo de valores aceitáveis do coeficiente de capilaridade para argamassas de substituição está compreendido entre 8 e 12 $kg/m^2.h^{0,5}$; uma vez que apenas as argamassas de injecção com 40% de teor de água estão contempladas nesse intervalo, as restantes argamassas, caso sejam aplicadas como revestimentos exteriores, vão permitir uma maior penetração de água até ao suporte embora promovam a evaporação e célere libertação.

6.6. Propriedades mecânicas

Nas tabelas seguintes são apresentados os resultados do ensaio de flexão e compressão.

Tabela 15 – VALORES PARA A RESISTÊNCIA Á FLEXÃO DAS ARGAMASSAS ENSAIADAS

Amostra	Flexão (MPa) Valor médio	
	35%W	40%W
Argamassa A	0,89	1,02
Argamassa B	0,75	0,99
Argamassa C	0,61	1,02

Tabela 16 – VALORES PARA A RESISTÊNCIA Á COMPRESSÂO DAS ARGAMASSAS ENSAIADAS

Amostra	Compressão (MPa) Valor médio	
	35%W	40%W
Argamassa A	1,18	1,12
Argamassa B	1,21	1,19
Argamassa C	1,22	1,63

No ensaio de resistência à flexão, as argamassas contendo 40% de água de amassadura apresentaram valores semelhantes, mas mais elevados que as argamassas com 35% de água de amassadura presente na sua constituição.

Quanto à resistência à compressão, as argamassas de *grout* com teor de água de 35% na sua composição tiveram resultados semelhantes, o mesmo não aconteceu quando o teor de água foi de 40%.

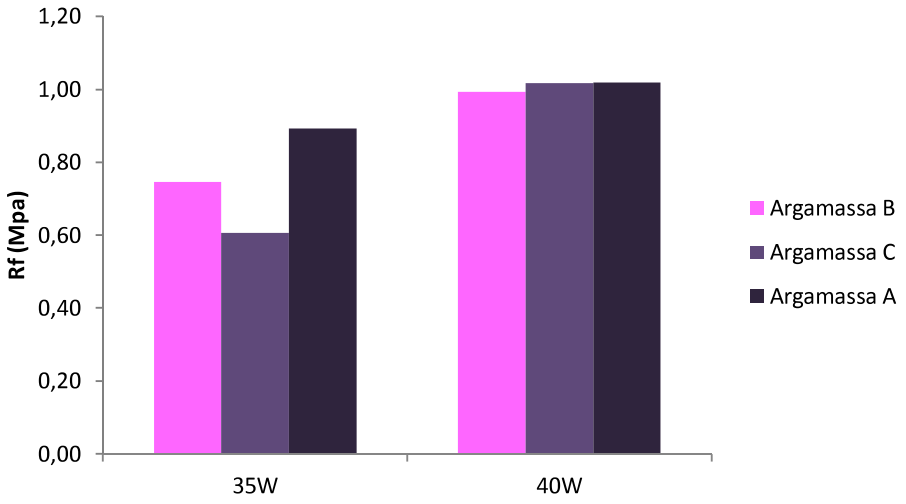

Figura 34. Valores para a resistência à flexão para as argamassas ensaiadas B, C e A, com 35% e 40% de teor em água.

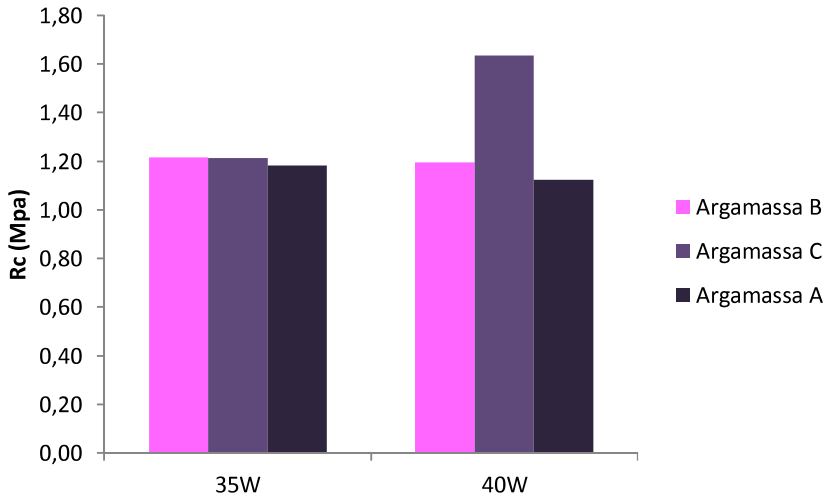

Figura 35. Valores de resistência à compressão para as argamassas ensaiadas B, C e A, com 35% e 40% de teor em água.

Relativamente aos resultados obtidos para a resistência mecânica, seriam de esperar valores mais elevados para as argamassas com 35% de teor de água de amassadura quando comparadas com a argamassa com 40% de água de amassadura. Porém, as argamassas com menor teor de água de amassadura apresentaram-se com menor trabalhabilidade, o que resultou numa pior compactação e, consequentemente, num maior número e tamanho de vazios. A baixa compactação gerada pela falta trabalhabilidade sobrepôs-se visivelmente ao efeito de um maior teor de água.

Pôde-se observar que o aditivo metacaulino utilizado nas substituições parciais da argamassa de *grout* B e C tinha elevada reactividade pozolânica, pois embora utilizado em menor percentagem na formulação que o metacaulino constituinte da argamassa A, estas argamassas apresenta maiores valores para os resultados da resistência à compressão.

Constatou-se que os valores obtidos de resistência à compressão se encontram no intervalo de valores definido por Veiga (2003a) para formulações de argamassa de cal aérea, destinadas à substituição de rebocos de edifícios antigos [0,4MPa – 2,5 MPa].

O mesmo não acontece quando analisamos os valores de resistência à flexão. Neste caso, Veiga (2003a) define os valores de resistência à flexão como sendo os seguintes, [0,2 MPa - 0,7 MPa], para rebocos de edifícios antigos. Os resultados obtidos, com excepção da

argamassa A com 35% de teor de água, não estão contemplados no intervalo referido. Os *grouts* poderão criar uma incompatibilidade na sua utilização como argamassas de substituição em rebocos antigos. Serão portanto necessários ensaios *in situ* para avaliar a sua aplicabilidade.

A argamassa C, com teor de água de 40%, apresentou uma resistência ligeiramente superior à flexão e à compressão. Esta argamassa poderá ser utilizada na consolidação quando os substratos são mais resistentes, como os substratos de cal aérea antigos em bom estado de conservação. O uso das restantes argamassas é mais adequado a um substrato mais fraco (Veiga et al. 2008).

6.7. Permeabilidade à água sob baixa pressão

Nos gráficos 36 ao 41, está exposta a evolução da absorção de água a baixa pressão ao longo do tempo, pelo método de tubos de Karsten.

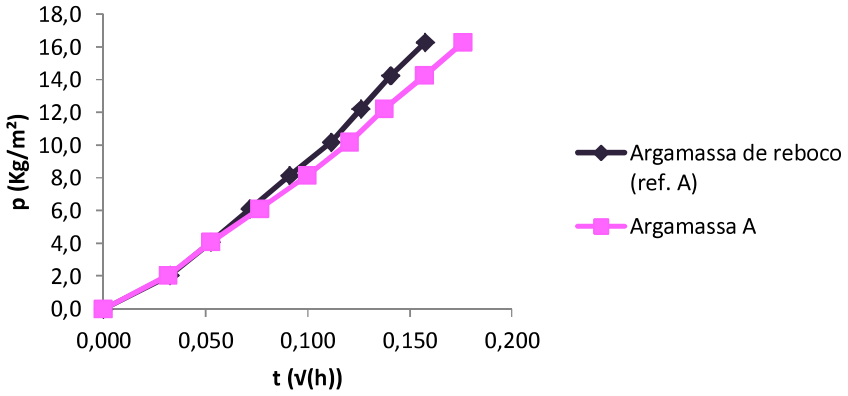

Figura 36. Ensaio de absorção de água a baixa pressão da argamassa A e argamassa de reboco do mesmo provete.

Neste provete, a velocidade de absorção de água é semelhante nas duas zonas analisadas, especialmente no início do ensaio. Com o decorrer deste, os valores obtidos foram divergindo um pouco, com a velocidade de absorção a abrandar na zona de aplicação do *grout*.

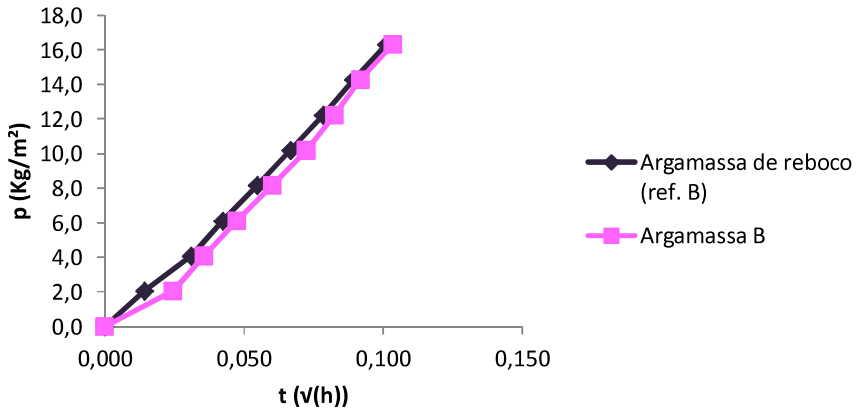

Figura 37. Ensaio de absorção de água a baixa pressão da argamassa B e argamassa de reboco do mesmo provete

No provete correspondente à argamassa B, a velocidade de absorção de água é novamente semelhante nas duas zonas analisadas. No entanto, os valores obtidos na zona de aplicação do *grout* foram sempre inferiores.

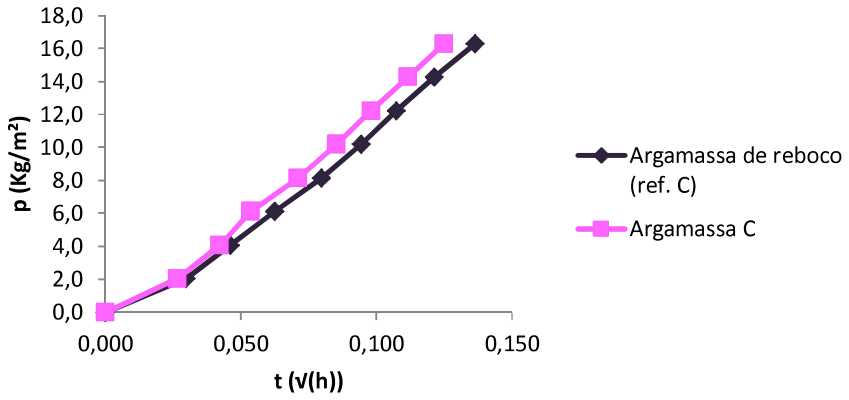

Figura 38. Ensaio de absorção de água a baixa pressão da argamassa C e argamassa de reboco do mesmo provete

Mais uma vez, o comportamento de absorção de água mostrou-se semelhante para as duas áreas analisadas, especialmente nos momentos iniciais. Para o provete correspondente à argamassa C, a velocidade de absorção apresentou-se superior na zona de aplicação do *grout*.

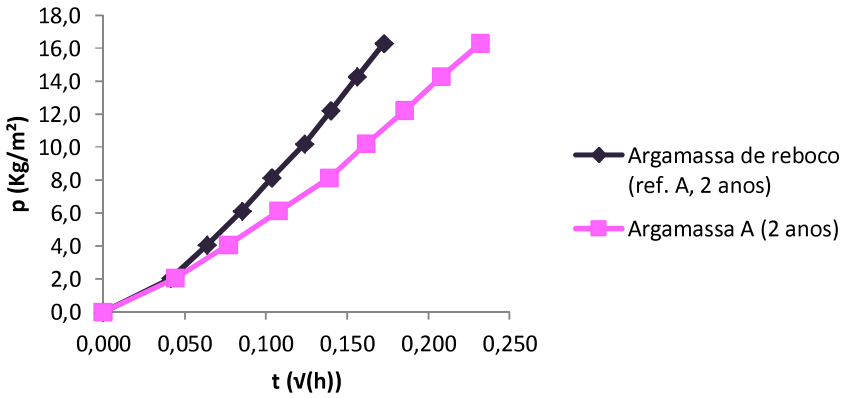

Figura 39. Ensaio de absorção de água a baixa pressão da argamassa A e argamassa de reboco do mesmo provete com dois anos de idade

O provete referente à argamassa A (2 anos), apesar de apresentar um comportamento inicial semelhante, foi aquele cujos resultados de absorção de água mais divergiram: a velocidade de absorção para a zona de aplicação do *grout* mostrou-se bem mais reduzida que a da área de referência.

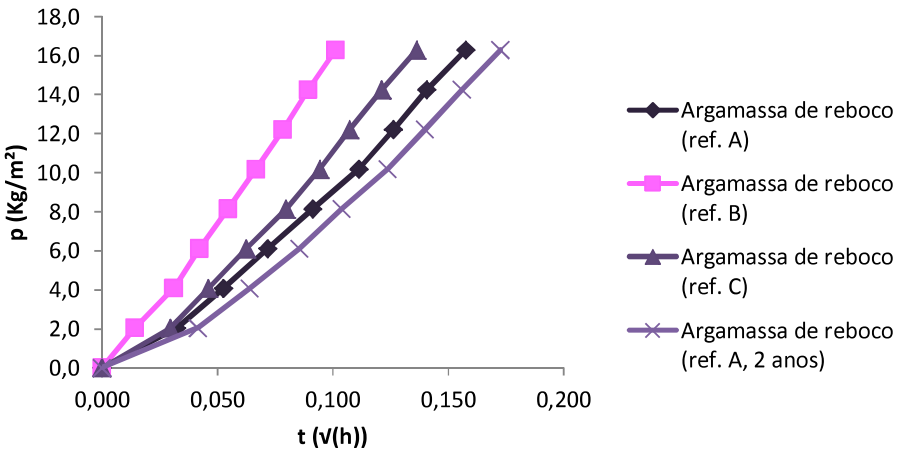

Figura 40. Gráfico comparativo de todas as argamassas de reboco ensaiadas

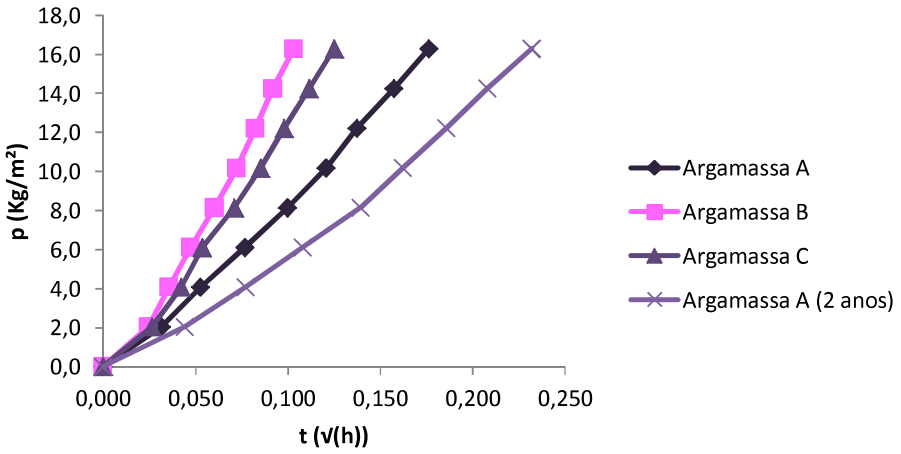

Figura 41. Gráfico comparativo de todos os *grouts* ensaiados

Através da observação das figuras 40 e 41 acima apresentadas, verifica-se que das duas zonas de ensaio não resultaram valores semelhantes entre si, ou seja, a argamassa de reboco referente ao *grout* B exibiu uma velocidade de absorção superior às restantes. Valores opostos tem o provete da argamassa com dois anos de idade, revelando velocidades de absorção inferiores às restantes. Não é assim possível fazer comparações relativamente à velocidade de absorção de água entre os diferentes provetes tipo "tijolo", isto é, não se devem retirar conclusões do facto de, por exemplo, o comportamento da argamassa de injecção A ser diferente do da B. Os gráficos das figuras 40 e 41 atestam esta afirmação: a relação entre valores de velocidade de absorção é semelhante nas duas áreas analisadas (p. ex., o provete da argamassa B é o que regista valores mais elevados, quer na zona de argamassa de reboco como na zona de colocação do *grout*), o que ajuda a concluir que a argamassa de reboco e as suas propriedades podem comandar o comportamento do provete.

Foi um acontecimento notado durante o processo de fabrico dos provetes tipo "tijolo": a quantidade de água disponível num volume de argamassa de reboco e a trabalhabilidade iam-se alterando com o decorrer da aplicação da mesma; era perfeitamente visível a redução da quantidade de água de cal com o passar do tempo. Este aspecto foi já estudado por H. Paiva et al. (2010), mostrando que a finura da cal provoca, inicialmente, a aglomeração de partículas da mesma. Estes aglomerados têm uma superfície específica inferior à das partículas que os constituem, pelo que "fixam" uma menor quantidade de água. Com o passar do tempo, estes

aglomerados são desagregados levando a uma redução da quantidade de água livre presente na mistura. Deste modo, argamassas aplicadas em alturas diferentes possuem quantidade de água livre diferentes, alterando o teor em poros capilares presentes na argamassa de reboco. Constata-se então que, os tijolos cuja argamassa de reboco foi aplicada imediatamente a seguir à mistura da argamassa, mostram uma absorção de água superior aos tijolos cuja argamassa foi aplicada algum tempo depois.

Através deste ensaio pode-se ainda constatar que à medida que o teor em metacaulino presente na constituição de cada argamassa aumenta, a permeabilidade diminui.

6.8. Aderência nos provetes tipo tijolo

No ensaio que visa medir a resistência ao arrancamento dos *grouts* não foi possível obter valores quantificáveis para a resistência ao arrancamento.

Procedeu-se assim de seguida à análise qualitativa.

Argamassa de reboco

Figura 42. Zona de descolamento da argamassa de reboco

Observações mostram que:

- O destacamento deu-se na interface de ligação das 2 camadas de argamassa de reboco (rotura adesiva).

Argamassa A

Figura 43. Zona de descolamento da argamassa de *grout* A

Observações mostram que:

- A argamassa preencheu uniformemente a zona de destacamento;
- A rotura deu-se pelo *grout*;
- Era visível a presença de fissuras na superfície de destacamento.

Argamassa B

Observações mostram que:

- A argamassa preencheu uniformemente a zona de destacamento;
- A rotura deu-se pelo *grout*;
- Era visível a presença de fissuras na superfície de destacamento.

Figura 44. Zona de descolamento da argamassa de *grout* B

Argamassa C

Figura 45. Zona de descolamento da argamassa de *grout* C

Observações mostram que :

- A rotura não ocorreu numa superfície linear, deu-se maioritariamente na zona de ligação superior *grout*/reboco – rotura mista;
- Era visível a presença de fissuras no *grout*.

Argamassa A (2 anos)

Figura 46. Zona de descolamento da argamassa de *grout* A (2 anos)

Observações mostram que:

- Ausência de rugosidade na superfície de destacamento;
- Presença de bolhas de ar no *grout*;
- Rotura adesiva na zona de ligação superior *grout*/reboco;
- A argamassa encontra-se ainda pulverulenta.

No ensaio que simula a aderência entre camadas, não foi possível obter valores de resistência ao arrancamento. Este facto atribuiu-se à reduzida sensibilidade do dinamómetro.

Constatou-se que a maior limitação deste ensaio se deve à fraca resistência ao arrancamento das argamassas de cal aérea, pois mesmo procedendo a uma picagem manual de forma lenta e extremamente cuidadosa, as amostras acabavam na maioria das vezes por se destacar, ficando assim inutilizadas para o ensaio.

Foi possível observar que nos provetes contendo as caldas de cal A e B, a rotura ocorreu pelo *grout*, podendo-se concluir que a resistência à tracção destas argamassas é inferior à força coesiva do substrato (Tavares, 2009). Através da observação dos carotes, constatou-se que os *grouts* mencionados preencheram de forma homogénea todos os espaços vazios que foram promovidos nos provetes tipo "tijolo". Nestes provetes foram observadas fissuras em todas as argamassas com 30 dias de tempo de cura. Tal deveu-se à absorção de água por parte do suporte.

A única argamassa em que foi possível a observação de bolhas de ar na superfície de rotura foi a argamassa de injecção A, com dois anos de tempo de cura; isto deveu-se provavelmente a uma injecção deficiente, pois pela análise das características reológicas é esperado comportamento idêntico na injecção de todos os *grouts*.

No provete injectado com esta argamassa, com dois anos de tempo de cura, foi ainda possível observar-se pulverulência associada a uma carbonatação incompleta. Neste provete a rotura deu-se de forma adesiva entre a interface do *grout* com a camada de reboco. O mesmo não ocorreu em nenhum dos outros provetes, pois foi inserida rugosidade no reboco superior; ou seja, a problemática da falta de adesão entre camadas foi suplantada.

Na tabela 17 apresenta-se um resumo dos principais resultados obtidos nos ensaios laboratoriais que ocorreram sobre as argamassas de injecção, com o objectivo de consolidar a perda de aderência.

Tabela 17 – RESUMO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS LABORATORIAIS EFECTUADOS SOBRE AS ARGAMASSAS DE INJECÇÃO

			Argamassa				
			A	B	C	A (2 anos)	Reboco
Características mecânicas [MPa]	R_f	35%	0,89	0,75	0,61	-----	-----
		40%	1,02	0,99	1,02	-----	-----
	R_c	35%	1,18	1,21	1,22	-----	-----
		40%	1,12	1,19	1,63	-----	-----
Aderência			Rotura coesiva	Rotura coesiva	Rotura mista	Rotura adesiva	Rotura adesiva
Coeficiente de Capilaridade C [$kg/m^2.h^{0,5}$]		35%	7,23	6,68	5,97	-----	-----
		40%	8,34	8,80	6,68	-----	-----
Retracção livre	Comprimento	35%	1,56	1,13	1,31	-----	-----
		40%	0,94	0,82	0,88	-----	-----
	Largura	35%	1,75	2,25	1,25	-----	-----
		40%	2,25	2,00	2,00	-----	-----

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Neste trabalho pretendeu-se desenvolver composições de argamassas de cal aérea, passíveis de serem aplicadas como pastas de injecção, de forma a consolidar a perda de aderência que ocorre em rebocos antigos. Para além das formulações teve-se também como objectivo prossegui os estudos previamente realizados sobre a adequabilidade dos *grouts*.

Com o objectivo de aferir a compatibilidade com os substratos, realizaram-se ensaios mecânicos e físicos onde se avaliou a resistência à compressão, resistência à flexão, facilidade de injecção, porosidade, retracção livre, capilaridade, permeabilidade à água sob baixa pressão, análise reológica e resistência ao arrancamento. Para a realização deste último ensaio desenvolveu-se, com base em estudos antes realizados, um provete tipo "tijolo" que pretendia simular a falta de aderência entre camadas, inserindo o factor rugosidade na camada superior de reboco, de forma a evitar que a rotura se desse de forma coesiva.

Da análise reológica concluiu-se que as novas argamassas eram adequados para a técnica de injecção. O mesmo foi confirmado posteriormente durante a injecção e aquando a observação dos carotes no ensaio de aderência, onde foi notada que as caldas de cal tinham preenchido todos os vazios sem presença de bolhas de ar.

Ao analisar as características mecânicas teve-se em conta o facto de ser imprescindível uma compatibilização entre este tipo de argamassas e o substrato onde são aplicadas, de forma a que não introduzam forças adicionais ao sistema. Nota-se assim que os *grouts* apesar de terem valores de resistência à compressão passíveis de uma utilização como argamassas de substituição em edifícios antigos (segundo requisitos estabelecidos em estudos anteriores), o mesmo não acontece quando se trata da resistência à flexão, sendo os valores desta, com excepção da argamassa de injecção A com 35% de teor de água de amassadura, ligeiramente elevados. As restantes argamassas poderão ser utilizadas em casos pontuais, de acordo com o suporte existente. Através dos resultados deste ensaio, mostrou-se ainda que apesar se serem espectáveis valores de resistência mais elevados para teores de água de amassadura inferiores, o efeito da melhoria da compactação sobrepôs-se a este facto.

Quanto à retracção livre, todas as argamassas apresentam uma resposta satisfatória no âmbito dos requisitos das argamassas de *grout*, não tendo sido ultrapassado o valor limite de 4%, tabelado como o valor de retracção livre máximo para este tipo de argamassas (Tavares et al. 2007).

Na medição do coeficiente de capilaridade observou-se que apenas as argamassas de injecção A e B com 40% de teor de água de amassadura eram susceptíveis de terem uso no âmbito das argamassas de injecção.

Através da avaliação da permeabilidade à água líquida por baixa pressão, comprovou-se que as características de uma mesma argamassa de reboco, aplicada em alturas diferentes, irão traduzir-se em diferenças na permeabilidade. Relativamente às argamassas de *grout*, elas apresentam um comportamento para a permeabilidade á água liquida muito próximo das argamassas de reboco. No entanto, as argamassas de *grout* com apenas com 28 dias de cura, quando comparadas com a argamassa A já com dois anos de cura, apresentam valores para a permeabilidade significativamente superiores. Este facto pode ser explicado pela continuação da carbonatação ao longo dos dois anos. O mesmo pode ser verificado quando se compara as argamassas de reboco produzidas durante o projecto com as argamassas de reboco com dois anos de cura. Concluiu-se ainda que o aumento de teor em metacaulino traduziu-se aparentemente na diminuição da permeabilidade.

Com o fim de proceder à avaliação de uma das propriedades mais importantes das pastas de injecção, ou seja a perda de aderência entre camadas, que resultava no objectivo principal do estudo proposto, mediu-se a resistência ao arrancamento nos provetes tipo "tijolo". Apesar de deste ensaio não ter resultado valores numéricos, como já foi referido anteriormente devido à fraca sensibilidade do dinamómetro, demonstrou-se que era possível erradicar facilmente a condicionante da falta de rugosidade entre camadas de reboco que levava a uma rotura adesiva (fenómeno observado no provete com dois anos de tempo de cura injectado com a argamassa A). Observou-se que a rotura ocorria totalmente de forma coesiva pela zona do *grout,* ou no caso da argamassa de injecção B a rotura era mista. No caso de rotura coesiva, conclui-se que a resistência à tracção do *grout* é inferior à força coesiva da argamassa do substrato, o que segundo Tavares et al. (2007) pode ser considerado positivo.

É importante referir ainda que os resultados obtidos não podem ser considerandos conclusivos na íntegra, pois existem ensaios complementares, tais como ensaios *in situ* que não foram realizados, com diferentes condições de aplicação, com diferentes características de suporte, que poderiam auxiliar para uma avaliação mais determinante deste tipo de argamassas de *grout*.

Ainda a título conclusivo é necessário referir que a reabilitação e conservação impõem-se finalmente na actualidade do sector da construção. As argamassas de injecção desempenham um papel fundamental na conservação do património histórico português, e a diversidade de materiais disponíveis promove a formulação de novos produtos que permitem solucionar problemáticas existentes na reabilitação.

Uma vez que a conservação de revestimentos antigos se encontra interligada à promoção da sustentabilidade, pois possibilita a redução da produção de resíduos e permite o recurso a produtos ecológicos, esta deve ser encarada como uma solução que deve ser criteriosamente analisada e nunca preterida em relação a outras.

Os resultados obtidos neste trabalho de base experimental podem ser bastante interessantes para a problemática da consolidação da perda de aderência e consequentemente a reabilitação do parque edificado português, principalmente se for futuramente desenvolvido e completado com outros estudos. Assim, apresentam-se as seguintes propostas para desenvolvimentos futuros:

- Realização de uma campanha experimental onde estejam contemplados ensaios como o da absorção de água e secagem bem como a realização de ensaios *in situ*, das argamassas de injecção que melhores resultados obtiveram, sobre revestimentos antigos sujeitais às condições meteorológicas;
- Inserir um ligante hidráulico, tal como a cal hidráulica ou outro tipo de material pozolânico, de forma a que o endurecimento da argamassa não dependa apenas da carbonatação pois a difusão do dióxido de carbono até á argamassa de *grout* é difícil;
- Os provetes tipo tijolo deverão permanecer por um intervalo maior de tempo na sala condicionada;

- Proceder a uma maturação das argamassas de reboco para garantir uma maior homogeneidade na produção dos provetes tipo "tijolo";
- Confeccionar provetes prismáticos com a argamassa de reboco colocada nos provetes tipo "tijolo";
- Os moldes utilizados para a elaboração dos provetes prismáticos deverão ser absorventes;
- O dinamómetro a utilizar deverá ter uma elevada sensibilidade para revestimentos de cal aérea;

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, J.; VEIGA, M.R. – Definição de estratégias de intervenção em revestimentos de edifícios antigos. Actas do 1º Enc. Nac. sobre Patologia e Reabilitação de Arquitectura Ibérica. Reabilitação. nº 12, 2006.

AGUILAR, A. S. – Consideraciones sobre los morteros para la consolidación de fábricas de efificios históricos. In Seminario Internacional sobre Consolidacion de Pinturas Murales, Aguilar de Campoo (Palencia), 19 a 20 de Agosto de 1998. Aguilar de Campoo: Fundación Santa Maria La Real, 1998 (Técnicas de Consolidación en Pintura Mural).

AMORIM, J. – Algumas considerações sobre uma intervenção cuidadosa. Göteborg, Maio de 2003 (ref.: http://cassianobranco.tripod.com/Reabilitacao_cuidadosa.pdf, 2009).

COUTO, A. B; Couto, J.P. -Especificidades e Exigências das Argamassas na Reabilitação de Edifícios Antigos. Minho: UM, 2007.

EMO, European Mortar Industry Organization. Dicionário Técnico. 3.ª Edição, 2001.

FERRAGNI, D; FORTI, M.; MORA, P. et al.– Injection Grouting of mural paintings and mosaics, in: Congress, Adhesives and Consolidants, Paris, IIC, September 1984.

GASPAR, P. L. ; FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J. - Técnicas de diagnóstico e classificação de anomalias por perda de aderência em rebocos; in 2º Congresso de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, 2007.

HENRIQUES, F.M.A. - Humidade em paredes. Lisboa, LNEC, 1994 (3ªedição 2001).

HENRIQUES, F.M.A.; FARIA P. - O papel da investigação no estudo das argamassas de substituição na conservação do património; in Engenharia Civil, UM, n.º31, 2008.

KAEFER, L. F. A Evolução do Concreto Armado. PEF 5707 – Concepção, Projeto e realização das estruturas: aspectos históricos. São Paulo, 1998.

KIELING, A.; CAETANO, M. O.; KULAKOSWKI, M. P. - Influência da adição de cinza de casca de arroz na aderência de argamassas de revestimento; Estudos Tecnológicos - Vol. 5, n° 2:157-170 Unisinos, (mai/ago. 2009).

LUSO, E. ; LOURENÇO, P., B. ; FERREIRA, R: M. - Injecções para consolidação de construções em terra. Revisão do conhecimento e métodos de ensaio. Comunicação ao 5.º Seminário de Arquitectura de Terra (V ATP), Universidade de Aveiro, Aveiro, 10-13 Outubro 2007.

MARTINS, C. S.F. – Estudo e desenvolvimento de pastas de cal para a readerência de rebocos antigos. Aveiro, Universidade de Aveiro/Departamento de Engenharia Civil, 2008. Tese elaborada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

MARTINS, J. G. ; ASSUNÇÃO, J. S. - Materiais de construção: argamassas e rebocos; Série Materiais, 1ª Edição, Universidade Fernando Pessoa, 2004.

MARTINS, J. G. ; ROSA C. C.- Reabilitação da Envolvente Vertical Opaca de Edifícios; Série Reabilitação, 1ª Edição, Universidade Fernando Pessoa, 2005.

MONTEIRO, D.M.P. - Avarias em argamassas – causas, prevenção e reparação. Porto, Universidade Fernando Pessoa, 2008. Monografia elaborada para obtenção do grau de Licenciatura e Engenharia Civil.

MORA, P.; MORA, L.; PHILIPPOT, P. – La Conservazione delle pitture murali. Bologna: Editrice Compositori, 2001.

MOURA, C. B. – Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto: influência das condições de temperatura e ventilação do chapisco; Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2007.

PAIVA, H. – Caracterização reológico de argamassas. Aveiro, Universidade de Aveiro, 2005. Tese de Mestrado.

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

PAIVA, H. & FERREIRA, V.M.; LABRINCHA, J. A. - Role of water reducing agents in mortar behavior. In HWC 2006 Heritage, Weathering & Conservation Conference Madrid, 2006b.

PAIVA, H. ; VELOSA, A. ; VEIGA, R. ; FERREIRA, V., M. – Effect of maturation time on the fresh and hardened properties of an air lime mortar. Journal Cement and Concrete Research 40 (2010), pag. 447-451.

PAULO, R.S.V.M. N. – Caracterização de argamassas industriais. Aveiro, Universidade de Aveiro/Departamento de Engenharia cerâmica e do vidro, 2006. Tese elaborada para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos.

PENAS F. E. - Argamassas de Cal Hidráulica para Revestimentos de Paredes. Lisbos, Instituto Superior Técnico, 2008. Tese elaborada para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.

PERRET et al. - Formulation of high-performance cement grouts for the rehabilitation of heritage masonry structures. Third International Conference On Grouting and Grout Treatment, New Orleans, Louisiana, 2003.

RODRIGUES, M. P. – Argamassas de revestimento para alvenarias antigas – contribuição para o estudo da influência dos ligantes. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, Lisboa 2004. Tese de Doutoramento.

ROSA, C. C.; MARTINS, J. G. – Reabilitação da envolvente vertical opaca de edifícios; Série Reabilitação, 1ª Edição, Universidade Fernando Pessoa, 2005.

SERRANO, E. – Un mortero de inyeccíon de produtos naturales para la conservación de pinturas murales. In Seminario Internacional sobre Consolidacion de Pinturas Murales, Aguilar de Campoo (Palencia), 19 a 20 de Agosto de 1998. Aguilar de Campoo: Fundación Santa Maria La Real, 1998 (Técnicas de Consolidación en Pintura Mural).

SILVA, J. M. da – Alvenarias não estruturais patologias e estratégias de reabilitação; Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Porto, 2002.

SOUSA, V.; PEREIRA, F. D.; DE BRITO, J. - Rebocos tradicionais: Principais causas de degradação; Revista Engenharia Civil, Universidade do Minho, número 23, 2005.

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

TAVARES, M. L. – A conservação e o restauro de revestimentos exteriores de edifícios antigos - Uma metodologia de estudo e reparação. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa/Faculdade de Arquitectura, Abril de 2009. Tese elaborada no laboratório Nacional de Engenharia Civil, para obtenção do grau de Doutor em Arquitectura.

TOUMBAKARI, E. - Lime-Pozzolan-Cement Grouts and their Structural Effects on Composite Masonry Walls. PhD Thesis, Dept Burgerlijke Bouwkunde, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium, 2002.

VEIGA, Mª R. – 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 de 2003a.

VEIGA, Mª R. – As argamassas na conservação. Comunicação às 1.as Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro sobre " Avaliação e Reabilitação das Construções existentes", Aveiro, 26 de Novembro de 2003. Lisboa: LNEC.

VEIGA, Mª R. – Comportamento de rebocos para edifícios antigos: Exigências gerais e requisitos específicos para edifícios antigo; Seminário "Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos", Lisboa, LNEC, 14-15 de Fevereiro de 2005.

VEIGA, Mª. R. – Os revestimentos antigos e a identidade dos edifícios. Arquitectura Ibérica. Reabilitação, nº 12, 2006.

VEIGA, Mª. R. – Materias e técnicas construtivas tradicionais. Revestimentos de paredes antigas: Argamassas, rebocos, estuques e pinturas. In FAUL, 2007.

VELOSA, A. – Argamassas de cal com pozolanas para revestimentos de paredes antigas. Aveiro, Universidade de Aveiro, 2006. Tese elaborada para obtenção do grau de doutoramento.

ZAJADACZ, K.; SIMON, S. - Grouting of architectural surfaces – the challenge of Testing, 2006 (ref: http://www.icvbc.cnr.it/drilling/publications/Lizbon_articlecc.pdf, 2010).

NORMAS

EN 1015-3: 1999 - Methods of test for mortar for masonry. Determination of consistence of fresh mortar

EN 1015-11: 1999 - Methods of test for mortar for masonry Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardene mortar;

EN 1015-12: 2000 - Methods of test for mortar for masonry Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates;

EN 1015-18: 2002 - Methods of test for mortar for masonry. Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar;