U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ARGAMASSAS DE LIGANTES AÉREOS OU HIDRÁULICOS

ISABELA NEVES AZEVEDO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requesitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Desenvolvida em *CIN – Corporação Industrial do Norte, S.A.*

CIN

Orientador: Professor Doutor Vasco Manuel Araújo Peixoto de Freitas

---

Coorientador : Engenheira Filomena Maria Braga Soares

JULHO DE 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a Mestrado Integrado em Engenharia Civil – 2014/2015 – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respectivo Autor.

À minha família e amigos

A perseverança é a mãe da boa sorte

Miguel de Cervantes

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar os meus mais sinceros agradecimentos a todos aqueles que cruzaram o meu caminho na realização deste projeto.

Como não poderia deixar de ser gostaria de agradecer ao professor doutor Vasco Peixoto de Freitas toda a atenção, empenho e paciência que teve para comigo e toda a sabedoria que de bom grado partilhou.

À engenheira Filomena Braga gostaria de agradecer a simpatia, disponibilidade e objetividade com que sempre pude contar. Foi uma orientadora presente e que sempre se mostrou interessada em melhorar o projeto, foi alguém com quem foi fácil trabalhar.

Ao *Centro de Investigação e Desenvolvimento* da *CIN – Corporação Industrial do Norte, S.A.* gostaria de agradecer todo o apoio, motivação, rigor e espírito de entre ajuda que demonstrou para comigo e que fez com que este projeto evoluísse. A todas as pessoas que lá trabalham gostaria de deixar aqui uma nota de apreço pois foram sempre todos muito prestáveis, profissionais e de uma simpatia contagiante. Em especial gostaria de agradecer ao senhor Carlos Sousa por me ter acompanhado na fase da elaboração dos provetes e pelo interesse e profissionalismo com que sempre o fez.

Ao engenheiro Vasco Lopes deixo uma palavra de apreço e de agradecimento pela simpatia e sinceridade. Obrigado por me ter ajudado a encontrar as respostas às inúmeras questões que lhe fui pondo.

Ao LFC (Laboratório de Física das Construções) gostaria de agradecer a todos os profissionais que demonstraram disponibilidade e atenção para comigo ajudando-me a conseguir realizar os meus objectivos em tempo útil. Gostaria de agradecer à engenheira Andreia Miranda e ao engenheiro Pedro Pereira por toda ajuda, orientação e paciência que demonstraram para comigo. A vossa ajuda foi essencial.

Por fim gostaria de agradecer aos meus pais e irmã por me terem apoiado e acreditado em mim.

Aos meus amigos aqui fica um grande obrigado pela paciência, amizade e companheirismo.

A todos, bem hajam.

RESUMO

A patologia da construção tem impacto económico pelo que se justifica avaliar as causas que estão na sua origem. Em particular, a patologia da argamassa e de revestimento de alvenaria tem relevância para as empresas que produzem tintas pois a argamassa de revestimento exterior de fachadas constitui o seu suporte.

Esta dissertação desenvolve-se em ambiente empresarial, numa empresa produtora de tintas, de forma a procurar que os resultados da investigação respondam aos problemas da indústria.

Os objetivos desta dissertação incidem nos seguintes pontos: tipificação das patologias de argamassas; análise de sistemas de responsabilidades, garantias e seguros existentes em Portugal, Espanha e França; desenvolvimento de ampla campanha experimental para determinação de permeabilidade ao vapor, absorção de água por imersão parcial, aderência por tração, variações dimensionais e discussão dos resultados comparando com as exigências regulamentares.

Os resultados obtidos permitem caracterizar hídrica e mecânicamente as argamassas escolhidas. Na maioria dos casos conseguiu-se distinguir os diferentes tipos de argamassas através dos valores obtidos. Para as argamassas correntes e as argamassas de ETICS obtiveram-se resultados distintos em quase todos os ensaios realizados, comprovando-se assim que estas argamassa têm desempenho diferente.

PALAVRAS-CHAVE: Argamassas, Patologia, Construção, Propriedades, Desempenho

ABSTRACT

The pathology of construction has economic impact which justifies an evaluation of the causes that are behind it. In particular, the pathology of mortar and masonry coating has relevance to companies that produce paint because the exterior façade coating mortar is their support.

This thesis was developed in a business environment, in a paint producer company, so that the results of the research meet the industry problems.

The objectives of this dissertation focuses on the following points: classification of mortars pathologies; analysis of responsibility systems, existing guarantees and insurance in Portugal, Spain and France; development of wide experimental campaign to determine vapor permeability, water absorption by partial immersion, adhesion traction, dimensional variations and discussion of results comparing to the regulatory requirements.

The results obtained allow us to characterize hydraulically and mechanically the chosen mortar. In most cases it was possible to distinguish different types of mortars based on the values obtained. For the usual mortar and ETICS mortar different results were obtained in almost all trials, thus proving that these mortars have different performance.

KEY-WORDS: mortars, pathology, construction, properties, performance

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS III

RESUMO V

ABSTRACT VII

1. INTRODUÇÃO 1

1.1. ENQUADRAMENTO 1

1.2. OBJECTIVOS DO TRABALHO 1

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO 1

2. UTILIZAÇÃO DE ARGAMASSAS COMO REVESTIMENTOS DE FACHADAS 3

2.1. INTRODUÇÃO HISTÓRICA 3

2.2. ARGAMASSAS 6

2.2.1. DEFINIÇÃO E CONCEITOS 6

2.2.2. CARACTERIZAÇÃO DOS CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS 10

2.3. ARGAMASSA DE REBOCO EXTERIOR 13

2.3.1. DEFINIÇÃO E CONCEITOS 13

2.3.2. PROPRIEDADES 14

3. PATOLOGIAS EM REVESTIMENTOS EXTERIORES DE FACHADAS 17

3.1. PATOLOGIAS EM ARGAMASSAS 17

3.1.1. DEFINIÇÃO E CONCEITOS 17

3.1.2. FENDILHAÇÃO 18

3.1.3. EFLORESCÊNCIAS E CRIPTOFLORESCÊNCIAS 23

3.1.4. EMPOLAMENTO E OU DESTACAMENTO DO REVESTIMENTO 26

3.1.5. COLONIZAÇÃO BIOLÓGICA 28

3.1.6. APARECIMENTO DE MANCHAS 29

3.1.7. DIFERENÇAS DE TONALIDADE 31

3.1.8. SÍNTESE 32

3.2. PATOLOGIAS EM SISTEMAS ETICS 33

3.2.1. DEFINIÇÃO E CONCEITOS 33

3.2.2. FISSURAÇÃO DO REVESTIMENTO 35

3.2.3. INFILTRAÇÕES 36

3.2.4. Colonização Biológica....36
3.2.5. Destacamento e/ou empolamento do revestimento....37
3.2.6. Deterioração do tratamento das juntas....37
3.2.7. Perfuração do sistema....37
3.2.8. Manchas....38
3.2.9. Conclusões....38
4. RESPONSABILIDADES, GARANTIAS E SEGUROS....39
4.1. Portugal....39
4.2. França....41
4.3. Espanha....43
4.4. Síntese....45
5. PROPRIEDADES MECÂNICAS E HÍDRICAS DAS ARGAMASSAS....47
5.1. Introdução....47
5.2. Módulo de Elasticidade Dinâmico (MPa)....50
5.3. Resistência à Tração (MPa)....52
5.4. Resistência à Compressão (MPa)....54
5.5. Porosidade Aberta (%)....56
5.6. Coeficiente de Absorção de Água por Capilaridade (kg/(m^2.min^{0,5}))....58
5.7. Aderência por Tração (MPa)....60
5.8. Permeabilidade ao Vapor....62
5.8.1. Fator de Resistência à Difusão do Vapor (m)....62
5.8.2. Espessura de Camada de Ar de Difusão Equivalente (S_D)....64
5.9. Variação Dimensional (mm/m)....66
5.10. Síntese....66
6. CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DE ARGAMASSAS....69
6.1. Introdução....69
6.2. Permeabilidade ao Vapor de Água....72
6.2.1. Definição, Conceitos e Normalização....72
6.2.2. Breve Descrição do Procedimento....72
6.2.3. Preparação das amostras....72
6.2.4. Acondicionamento das Amostras....72

6.2.5. CONDIÇÕES DE ENSAIO 72
6.2.6. PREPARAÇÃO DO CONJUNTO DE ENSAIO 73
6.2.7. PROCEDIMENTO 73
6.2.8. RESULTADOS 75
6.2.9. SÍNTESE 79
6.3. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO PARCIAL (A_w) 81
6.3.1. DEFINIÇÃO, CONCEITOS E NORMALIZAÇÃO 81
6.3.2. BREVE DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO 81
6.3.3. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS 81
6.3.4. ACONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS 81
6.3.5. PROCEDIMENTO DE ENSAIO 81
6.3.6. RESULTADOS 83
6.3.7. SÍNTESE 89
6.4. DETERMINAÇÃO DA ADERÊNCIA POR TRAÇÃO (*PULL-OFF*) 91
6.4.1. DEFINIÇÃO, CONCEITOS E NORMALIZAÇÃO 91
6.4.2. BREVE DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO 91
6.4.3. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS 91
6.4.4. ACONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS 91
6.4.5. PROCEDIMENTO 92
6.4.6. RESULTADOS 93
6.4.7. CONCLUSÕES 97
6.5. VARIAÇÃO DIMENSIONAL 98
6.5.1. DEFINIÇÃO, CONCEITOS E NORMALIZAÇÃO 98
6.5.2. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS 98
6.5.3. PROCEDIMENTO 98
6.5.4. RESULTADOS 99
6.5.5. SÍNTESE 99
6.6. ARGAMASSAS UTILIZADAS EM SISTEMAS ETICS 100
6.6.1. PROPRIEDADES AVALIADAS 100
6.6.2. ADERÊNCIA POR TRAÇÃO (*PULL-OFF*) 100
6.6.3. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO PARCIAL (AW) 102
6.6.4. SÍNTESE 107
6.7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 111

7. CONCLUSÃO 113

7.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS 113

7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS 114

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 115

ANEXOS 121

A 1 – FICHAS DE ENSAIO DE ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DE FATOR DE RESISTÊNCIA AO VAPOR DE ÁGUA (μ) 121

A 2 – FICHA DE ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÀGUA POR IMERSÃO PARCIAL... 131

A 3 – FICHA DE ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA ADERÊNCIA POR TRAÇÃO 147

A 4 – FICHA DE ENSAIO DE VARIAÇÕES DIMENSIONAIS 157

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Evolução Temporal das Argamassas....5

Fig. 2 – Utilização de argamassas industriais e tradicionais....8

Fig. 3 – Distribuição das patologias consoante a sua origem....17

Fig. 4 – Sistema ETICS....33

FIg. 5 –Valores de Módulo de Elasticidade (MPa) recolhidos da bibliografia....51

Fig. 6 – Valores de Resistência à Tração recolhidos da bibliografia....53

Fig. 7 – Valores de resistência à compressão (MPa) recolhidos da bibliografia....55

Fig. 8 – Valores de porosidade aberta (%) recolhidos da bibliografia....57

Fig. 9 – Valores de coeficiente de absorção de água por capilaridade ($kg/(m^2.min^{0,5})$) recolhidos da bibliografia....59

Fig. 10 – Valores de Aderência por tração (MPa) recolhidos da bibliografia....61

Fig. 11 – Valores de fator de resistência ao vapor de água (μ) recolhidos da bibliografia....63

Fig. 12 – Valores de espessura de camada de ar de difusão equivalente Sd (m)....65

Fig. 13 – Argamassa colocada nos moldes....73

Fig. 14 – Tina metálica com água no fundo....73

Fig. 15 – Coloca-se o provete no conjunto anterior....74

Fig. 16 – Sela-se as bordas com parafina líquida....74

Fig. 17 – Provetes na câmara climática....74

Fig. 18 – Câmara climática....74

Fig. 19 – Ensaio de permeabilidade ao vapor de AE1 (cal aérea)....75

Fig. 20 – Variação mássica ao longo do tempo da argamassa AE2....76

Fig. 21 – Variação mássica ao longo do tempo do conjunto correspondente a AE3....77

Fig. 22 – Variação mássica do conjunto de ensaio ao longo do tempo da argamassa AE4....78

Fig. 23 –Síntese de valores obtidos, recolhidos e normativos do fator de resistência à difusão do vapor....79

Fig. 24 – Esquema respresentativo do ensaio de absorção de água por capilaridade....82

Fig. 25 – Argamassa nos moldes....82

Fig. 26 - Desmoldagem....82

Fig. 27 – Provetes com barramento....82

Fig. 28 – Impermeabilização das faces maiores dos provetes....82

Fig. 29 – Realização do ensaio....83

Fig. 30 – Equipamento utilizado nas pesagens....83

Fig. 31 – Esquema de barramento (m)....83

Fig. 32 – Gráfico relativo a ensaio de determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade AE1 ..84

Fig. 33 – Gráfico relativo a ensaio de determinação de coeficiente de absorção de água para AE2 85

Fig. 34 – Gráfico relativo a ensaio de determinação de coeficiente de absorção de água para AE3 86

Fig. 35 – Gráfico relativo a ensaio de determinação de coeficiente de absorção de água para AE4 87

Fig. 36 – Gráfico relativo a ensaio de determinação de coeficiente de absorção de água para AE5 88

Fig. 37 – Gráfico síntese de valores do coeficiente de absorção de água 90

Fig. 38 – Esquema para Realização de *pull-off*..... 94

Fig. 39 – Colocação da argamassa 93

Fig. 40 – Argamassa selada com plástico nos primeiros sete dias 93

Fig. 41 – Argamassa com pastilhas do equipamento de ensaio coladas 93

Fig. 42 – Após ensaio (observação dos módulos de rotura) 93

Fig. 43 – Síntese de valores de aderência por tração 97

Fig. 44 – Resultados do ensaio de variação dimensional 99

Fig. 45 – Esquema do barramento (metros) 102

Fig. 46 – Representação gráfico de coeficiente de absorção de água de AD1 103

Fig. 47 – Representação gráfica de coeficiente de absorção de água de AD2 104

Fig. 48 – Representação gráfica do coeficiente de absorção de água de AD3 105

Fig. 49 – Representação gráfica do coeficiente de absorção de água de AD4 106

Fig. 50 – Síntese de resultados de ensaio de aderência das argamassas fibradas (AD1 e AD2) 107

Fig. 51 – Gráfico síntese de resultados de ensaio de aderência das argamassas AD3 e AD4 108

Fig. 52 – Síntese de valores de coeficiente de absorção de água para AD1 e AD2 109

Fig. 53 – Síntese de valores de coeficiente de absorção de água de AD3 e AD4 109

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Utilizações de argamassa 7
Quadro 2 – Vantagens e desvantagens de diferentes tipos de ligantes das argamassas 11
Quadro 3 – Camadas de uma argamassa 13
Quadro 4 – Definição de categorias pela norma (NP 998-1) 15
Quadro 5 – Resumo dos Requisitos segundo a NP 998-1 para argamassas endurecidas 15
Quadro 6 – Diferentes tipos de fissuras 20
Quadro 7 – Quadro sobre susceptibilidade de fendilhação 21
Quadro 8 – Fissuração e relação com as propriedades das argamassas 22
Quadro 9 – Quadro síntese de eflorescências e criptoflorescências 25
Quadro 10 – Quadro síntese de descolamento e empolamento 27
Quadro 11 – Quadro Síntese Colonização Biológica 28
Quadro 12 – Quadro síntese aparecimento de "fantasmas" ou outras marcas escuras em revestimento 30
Quadro 13 – Quadro síntese diferenças de tonalidade 31
Quadro 14 – Fissuração em sistema ETICS 35
Quadro 15 – Infiltrações em sistemas ETICS 36
Quadro 16 – Colonização Biológica em sistemas ETICS 36
Quadro 17 – Empolamento e destacamento em sistema ETICS 37
Quadro 18 – Deteorização do tratamento de juntas em sistema ETICS 37
Quadro 19 – Perfuração do sistema ETICS 37
Quadro 20 – Aparecimento de manchas em sistema ETICS 38
Quadro 21 – Síntese de Responsabilidades, Garantias e Seguros 46
Quadro 22 – Propriedades das argamassas 48
Quadro 23 – Valores recolhidos de módulo de elasticidade dinâmico (MPa) 50
Quadro 24 – Valores de resistência à tração 52
Quadro 25 – Valores de resistência à compressão 54
Quadro 26 – Valores de Porosidade Aberta (%) 56
Quadro 27 – Valores de coeficiente de absorção de água por capilaridade 58
Quadro 28 – Valores de aderência por tração (MPa) 60
Quadro 29 – Valores de coeficiente de permeabilidade ao vapor de água ou fator de resistência à difusão do vapor (μ) 62
Quadro 30 – Valores de espessura de camada de ar equivalente (S_d) 64
Quadro 31 – Valores de variação dimensional (mm/m) 66
Quadro 32 – Síntese dos valores encontrados na bibliografia das propriedades das argamassas 67

Quadro 33 – Identificação das Argamassas 70
Quadro 34 – Ensaios realizados e argamassas envolvidas.....71
Quadro 35 – Resultados para a permeabilidade ao vapor do sistema AE1 75
Quadro 36 – Resultados obtidos para AE2 no ensaio de permeabilidade ao vapor.....76
Quadro 37 - Resultados da permeabilidade ao vapor para AE3.....77
Quadro 38 – Valores obtidos para as propriedades relacionadas com a permeabilidade ao vapor para AE4.....78
Quadro 39 – Síntese de valores obtidos de Sd e μ 79
Quadro 40 – Classificação de argamassas quanto à absorção de água segundo DIN 52.617.....83
Quadro 41 – Valores obtidos de coeficiente de absorçaõa de água para AE1.....84
Quadro 42 – Valores obtidos para coeficiente de absorção de água para AE2 85
Quadro 43 – Valores obtidos para o coeficiente de absorção de água para AE3 86
Quadro 44 – Valores obtidos para o coeficiente de absorção de água para AE4 87
Quadro 45 – Valores obtidos para o coeficiente de absorção de água de AE5.....88
Quadro 46 – Síntese de resultados dos coeficientes de absorção de água das argamassas.....89
Quadro 47 – Resultados obtidos de aderência para AE1 94
Quadro 48 – Valores obtidos para a aderência para a argamassa AE2.....94
Quadro 49 – Valores obtidos para a aderência para a argamassa AE3.....95
Quadro 50 – Valores obtidos para a aderência da argamassa AE4 95
Quadro 51 – Valores obtidos para a aderência da argamassa AE5 96
Quadro 52 – Resultados de ensaio de aderência a seco de AD1 100
Quadro 53 – Resultados de aderência a seco de AD2 101
Quadro 54 – Resultados de aderência a seco de AD3 101
Quadro 55 – Resultados de aderência a seco de AD4 102
Quadro 56 – Resultados de Aw para AD1 103
Quadro 57 – Resultados de Aw para AD2 104
Quadro 58 – Resultados de Aw para AD3 105
Quadro 59 – Resultados de Aw para AD4 106
Quadro 60 – Síntese Aderência a seco em argamassas utilizadas em ETICS 107
Quadro 61 – Síntese de resultados de coeficiente de absorção de água para argamassas de ETICS 108
Quadro 62 – Síntese de resultados de ensaios 111
Quadro 63 - Quadro síntese que relaciona os limites normativos com os resultados obtidos.....112

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

CIN – Coorporação Industrial do Norte, S.A.

LFC – Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

E - Módulo de elasticidade (MPa)

ε – Deformação

σ – Tensão (MPa)

μ – Fator de resistência à difusão do vapor de água

S_d – Espessura de camada de ar de difusão equivalente (m)

δ - Permeabilidade ao vapor de água (kg/(m^2.s.Pa))

1
INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

O aumento da velocidade construtiva nas décadas de 90 e início deste século foi consequência da industrialização da construção e da forte procura que se verificou neste sector.

Embora as argamassas sejam um material tradicional algum deste conhecimento parece ter sido perdido. Atualmente detetam-se várias patologias ao nível dos revestimentos exteriores nomeadamente ao nível das argamassas. Com este projeto pretende-se analisar as propriedades mecânicas e hídricas das argamassas de forma a tentar perceber quais as principais diferenças ao nível das argamassas de cal aérea, hidráulica e cimentícia. Analisaremos ainda algumas propriedades das argamassas utilizadas em sistemas ETICS através da realização de alguns ensaios experimentais.

1.2. OBJECTIVOS DO TRABALHO

O objectivo principal deste trabalho é avaliar se as propriedades das argamassas industriais se enquadram em determinados parâmetros. Pretende-se fazer uma reflexão sobre patologias, garantias, responsabilidades e seguros, definir valores médios de determinados parâmetros tais como o módulo de elasticidade dinâmico, as resistências à tração e à compressão, a aderência por tração, a porosidade aberta, o coeficiente de absorção de água, as variações dimensionais e a resistência à difusão do vapor e pretende-se determinar experimentalmente algumas destas propriedades.

Não só analisar-se-á o comportamento das argamassas de revestimento ditas tradicionais, as argamassas de cal aérea, de cal hidráulica e de base cimentícia mas também o das argamassas à base de polímeros.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este documento vai dividir-se em seis capítulos para além da introdução.

O segundo capítulo introduz o tema geral desta dissertação, a utilização de argamassas como revestimentos de fachadas, consistindo numa introdução histórica sobre a utilização das argamassas assim como na definição de alguns conceitos relevantes relativos a estes materiais.

O terceiro capítulo centra-se na identificação das principais patologias que se encontra em fachadas. Neste capítulo tenta-se caracterizar cada uma destas patologias e relacioná-las com as propriedades das argamassas que possam influenciar o aparecimento de manifestações anómalas. No fim do terceiro capítulo identifica-se apenas quais as principais patologias ao nível do sistema ETICS devido à parca informação sobre o assunto.

O quarto capítulo é sobre responsabilidades, garantias e seguros. Neste capítulo apresenta-se quais são as responsabilidades de cada interveniente no processo construtivo assim como quais as garantias e seguros existentes em três países, Portugal, França e Espanha.

O quinto capítulo resulta de uma recolha de informação bibliográfica acerca das propriedades mecânicas e hídricas que permitem caracterizar o comportamento de uma argamassa. Divide-se as argamassas pelo tipo de ligante, ou seja, argamassas de cal aérea, de cal hidráulica e argamassas de base cimentícia. Neste capítulo pretende-se perceber quais são as diferenças entre estas argamassas e entre que valores variam estas propriedades para cada tipo de argamassa.

No sexto capítulo faz-se um breve resumo dos ensaios realizados e apresentam-se os resultados obtidos experimentalmente. Conclui-se este capítulo com a análise crítica dos resultados obtidos. Compara-se estes valores com os valores normativos e com os valores obtidos pela pesquisa bibliográfica.

No sétimo capítulo retira-se conclusões sobre o trabalho realizado.

2

UTILIZAÇÃO DE ARGAMASSAS COMO REVESTIMENTOS DE FACHADAS

2.1. INTRODUÇÃO HISTÓRICA

O Homem começou por utilizar argila originária do solo para tapar fendas e para dar mais estabilidade às suas construções. Aplicavam-se camadas finas de argila inicialmente seca e posteriormente húmida (lama) de forma a ser mais fácil de moldar e de aplicar sobre as fendas.

Existem estudos que relatam que à mais de 10 mil anos atrás já se utilizava a cal na preparação das argamassas. Esta cal era obtida da pedra calcária após esta ir a uma espécie de forno (para a época) que era alimentado a lenha. Neste processo há a formação de cal viva (CaO) a que posteriormente se junta água e de onde se obtém a cal hidratada. A cal hidratada foi então o primeiro ligante não hidráulico utilizado pelo Homem, formando-se assim as primeiras argamassas, (Almeida, 2010).

Supõe-se que há mais de 8 mil anos existiam povos que faziam tijolos de adobe através da mistura de argila e água que depois deixavam secar ao sol. Ao fim de algum tempo a mistura dava origem a tijolos que eram posteriormente empilhados. Para melhorar a resistência dos tijolos de adobe incorporaram-se-lhe ervas secas. Nessa altura empilhavam-se também pedras de forma aleatória por vezes a seco, outras vezes com interposição de uma fina camada de argila amassada com água, (Paulo, 2006).

Rapidamente se verificou que estas construções não eram estáveis daí que algumas civilizações passaram a trabalhar a pedra em formatos adequados e passaram a produzir uma massa plástica que continha cal, gesso, pedra, fragmentos de tijolo e água. Esta massa plástica servia para ligar as pedras anteriormente trabalhadas conferindo assim mais estabilidade às construções. Este tipo de edificações foram construídas na Babilónia à cerca de 6 mil anos atrás e estas edificações duraram séculos, (Paulo, 2006).

À aproximadamente 3 mil anos atrás, o Homem começou a juntar um material aglomerante, as cinzas vulcânicas (pozolanas) com materiais inertes, o que contribuiu para aumentar a durabilidade das argamassas. Estas argamassas foram usadas por civilizações fenícias, gregas e romanas. A sua utilização passou pela pavimentação, pelas juntas de blocos e pelo revestimento destes, (Paulo, 2006).

Desde a Antiguidade e a Idade Média que são usados aditivos e adjuvantes na composição destas argamassas tais como sabões, resinas, cinzas, proteínas. Os romanos usavam sangue, banha e leite como adjuvantes para melhorar a trabalhabilidade das suas argamassas. Com a adição deste adjuvante conseguiu-se maior coesão, impermeabilização, resistência aos ciclos gelo e degelo e coloração. No entanto sabe-se hoje em dia que esses materiais introduziam ar na argamassa e essa pode ser uma das razões pelas quais as suas construções tiveram uma tão grande durabilidade, (Paulo, 2006).

Na Roma antiga existiam muitos aditivos orgânicos que eram utilizados para melhorar as características das argamassas, hoje em dia são reconhecidos duzentos e quarenta.
Além da cal, em termos de materiais inorgânicos, juntava-se areia vulcânica ativa. A areia vulcânica ativa é uma pozolana artificial obtida através de barro moído e de argila caolítica calcinada a cerca de 800 graus celsius.
Após a queda do império romano a qualidade das argamassas decresceu devido à perda de poder económico, passando a juntar-se mais areia e argila e menos cal.
Ao longo do tempo e devido também à falta de comunicação na época, o conhecimento relativo à preparação das argamassas foi-se dissolvendo e desaparecendo enquanto se continuava a utilizar argamassas de qualidade muito menor, (Almeida, 2010).
A partir do século VIII, época em que os árabes ocuparam a Península Ibérica, produziram-se imponentes decorações de edifícios com recurso a argamassas ricas em gesso pois este povo implementou o uso do gesso na produção de argamassa e trouxe consigo uma tecnologia mais avançada que a nossa. Estas argamassas eram essencialmente à base de gesso, cal viva, areia calcária e aditivos como gorduras de animais, ceras e resinas como o látex da figueira. Estas argamassas eram designadas "trabadillos" e eram essencialmente utilizadas em argamassas para juntas, estuques e rebocos. Estas argamassas usavam-se também no exterior pois os árabes tinham o conhecimento sobre hidrofugação do gesso, o que impedia a dissolução dos sulfatos na água, (Almeida, 2010).
No século XVIII, John Smeaton desenvolveu a Cal Hidráulica como ligante hidráulico.
Em 1824 foi registada a patente do cimento Portland em nome do inglês Joseph Aspedin e do filho.
Em 1826 teve lugar em França a abertura da primeira fábrica de Cal Hidráulica.
Em 1853 Emile Dupon e Charles Demarle adquirem o conhecimento de produção do cimento Portland e registam a patente, deixando este conhecimento de ser um exclusivo britânico.
Em 1857 nasceu a primeira fábrica de cimento em Inglaterra. Deu-se um incremento da utilização de cimento Portland em detrimento da Cal Hidráulica por este conferir maior resistência e menor tempo de presa que teve como consequência o encurtamento do tempo de obra que por sua vez levou a um maior beneficio económico, (Almeida, 2010).
Em 1891 abriu a primeira fábrica de cal hidráulica em Portugal e em 1892 foi criada a primeira fábrica de cimento no nosso país.
A utilização de um só ligante com um único agregado levou a um maior aparecimento de fendilhação nos rebocos. A utilização de mais cimento e a adição também de mais água, situação frequente em obra, fazem com que a retração da argamassa seja maior e daí uma maior a ocorrência de fendilhação. Com o objectivo de contrariar esta tendência surgiu na Europa entre 1950 e 1960 uma nova indústria de fabricação de argamassas em fábrica.
Em 2002 teve lugar a marcação CE do cimento Portland e a partir de 2004 tem se procedido à marcação CE das argamassas de construção, (Almeida, 2010). A figura 1 é uma adaptação de um semelhante, que consta em (Almeida, 2010).

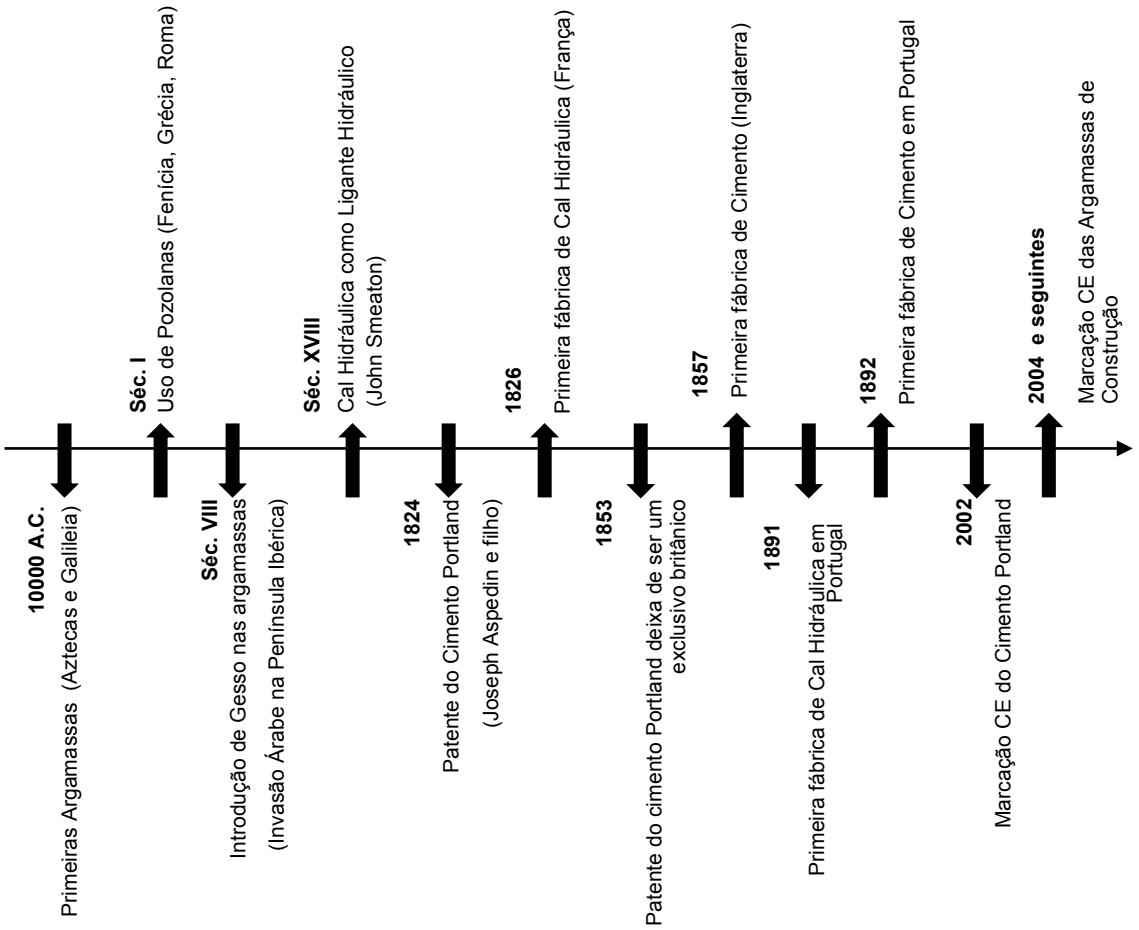


Fig. 1 – Evolução Temporal das Argamassas

2.2. ARGAMASSAS

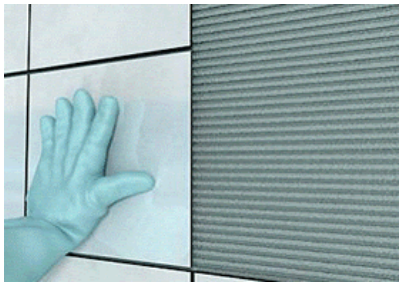
2.2.1. DEFINIÇÃO E CONCEITOS

Denomina-se argamassa à mistura de um ou mais ligantes inorgânicos com agregados e água. Esta mistura pode também incorporar aditivos e adjuvantes. As argamassas que contêm mais que um ligante são vulgarmente denominadas por argamassas bastardas.
Os materiais empregues na produção de uma argamassa, a sua quantidade e origem têm influência na comportamento da argamassa.
Os constituintes das argamassas e suas quantidades variam consoante a utilização final do produto. Uma argamassa é vulgarmente caracterizada pelo seu traço. O traço de uma argamassa representa relação entre os componentes da argamassa sendo que se tem como referência a quantidade de cimento. Segundo (Instituto Português da Qualidade, 2010) as argamassas podem ser caracterizadas tendo em conta a sua aplicação, o seu local de produção ou concepção.

- Classificação das argamassas quanto à aplicação

As argamassas são utilizadas na indústria da construção civil em diversos momentos tais como em revestimento de paredes (argamassas de reboco), em assentamentos de alvenaria (argamassas de alvenaria), em aplicação de cerâmicos (cimentos-cola), em preenchimento de juntas entre os elementos dos revestimentos (massa para juntas) e em regularização e nivelamento de pavimentos (argamassas de suporte para pavimentos).
Este trabalho vai incidir essencialmente nas argamassas de reboco para exterior.
Na tabela seguinte podemos observar alguns exemplos da aplicação destes produtos.

Quadro 1 – Utilizações de argamassa

Tipo de argamassa	**Figura**	**Utilização**
Argamassa de reboco	 (*casabemfeita.com*)	- Revestimento de paredes e muros - Diferentes tipos de acabamento (cores, texturas, etc...)
Argamassa de alvenaria	 (*construdeia.com*)	-Assentamento de alvenaria em muros e paredes
Cimentos-cola	 (*nortecola.com.br*)	- Colagem de elementos cerâmicos (sobre um suporte rebocado ou diretamente sobre parede ou pavimento)
Argamassas para juntas	 (*intlimg.demandmedia.com*)	- Preenchimento de juntas entre elementos dos revestimentos - Funções estéticas ou funcionais

Argamassa de pavimentos	 (*secilargamassas.pt*)	- Regularização e nivelamento de pavimentos (azulejo, pavimento flutuante, etc.)

- Classificação das argamassas quanto ao local de produção

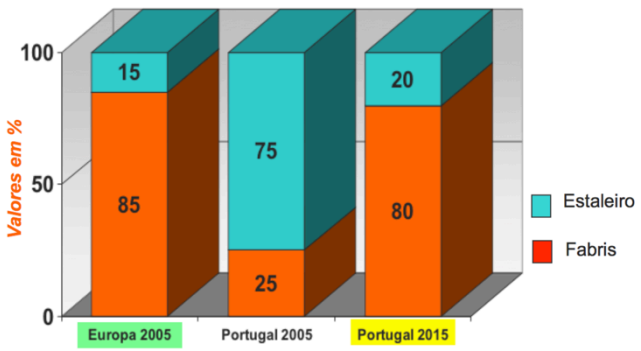
As argamassas podem ser produzidas em obra e nesse caso denominam-se argamassas tradicionais ou podem ser produzidas de forma industrial e nesse caso denominam-se argamassas fabris ou industriais.

As argamassas industriais subdividem-se em argamassas secas ou prontas a amassar, argamassas estabilizadas ou prontas a aplicar e argamassas industriais semi-acabadas, (Almeida, 2010).

É muito comum no nosso país utilizar-se argamassas feitas em obra embora as argamassas industriais vão sendo mais utilizadas. As argamassas tradicionais têm o inconveniente de serem feitas com matérias primas que estiveram expostas a condições adversas no estaleiro e a mistura é executada com pouco rigor, (Almeida, 2010).

As vantagens das argamassas industriais são a possibilidade de introdução de aditivos e adjuvantes que melhoram o seu comportamento e a possibilidade de existir um controlo mais preciso em relação às suas características e propriedades. Este controlo é conseguido através da execução controlada de uma formulação previamente estudada para induzir características específicas à argamassa. As argamassas devem cumprir as normas em vigor e devem ser acompanhadas de uma ficha técnica e uma ficha de segurança, (Almeida, 2010).

Um inconveniente das argamassas industriais é que estas tendem a ser mais caras que as argamassas tradicionais e por isso existe ainda alguma resistência por parte das empresas de construção na utilização deste tipo de material. No entanto ao utilizar-se argamassas industriais contribui-se para a organização do estaleiro e ganha-se em tempo visto que as argamassa já vêm prontas aplicar ou quase acabadas, (Almeida, 2010). Como se pode ver na figura 2 a utilização de argamassas industriais previa-se que crescesse até 2015.



*Retirado de (Duarte, 2007)

Fig. 2 – Utilização de argamassas industriais e tradicionais

- Classificação das argamassas segundo a concepção

Tendo em conta a conceção as argamassas subdividem-se em argamassas de desempenho (ou de prestação) e em argamassas de formulação.

Segundo a norma NP EN 998, uma argamassa de desempenho ou prestação é uma argamassa cuja composição e processo de fabrico estão definidos pelo fabricante com vista a obter propriedades especificas. Segundo a mesma norma, uma argamassa de formulação é uma argamassa fabricada segundo uma composição pré-determinada, para a qual as propriedades obtidas dependem da proporção entre os componentes.

2.2.2. CARACTERIZAÇÃO DOS CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS

Os constituintes das argamassas e suas quantidades variam consoante a utilização final do produto. Como já foi referido uma argamassa é constituída por um ou mais ligante, agregados, água e por vezes também contêm aditivos e adjuvantes.

- Ligantes

O ligante é um produto com propriedades aglomerantes e que ganha presa e endurece, tendo capacidade de aglomerar outros materiais, neste caso os agregados.
Os ligantes utilizados nas argamassas são ligantes hidrófilos (têm afinidade com água e endurecem quando estão em contacto com ela). Estes podem ser aéreos (não resistem à água) como por exemplo a cal e o gesso, ou podem ser hidráulicos (resistem à água ganhando presa e endurecendo dentro de água) como por exemplo o cimento e a cal hidráulica, (Almeida, 2010).
O gesso é caracterizado por ser um pó branco e é obtido através da mistura 60% a 70% de material moído da pedra de gesso anteriormente cozido entre 130ºC e 160ºC e o restante de anidrite ($CaSO_4$). Utilizado principalmente em interiores é hoje em dia muito utilizado no gesso cartonado,. O gesso é um dos ligantes não naturais mais antigos.
Segundo (Almeida, 2010), a cal aérea é obtida da cozedura do calcário a aproximadamente 850ºC e segundo a norma NP EN 459-1:2005 as cais aéreas são "cais constituídas principalmente por óxido ou hidróxido de cálcio as quais endurecem lentamente ao ar por reação com o dióxido de carbono atmosférico. Geralmente não fazem presa dentro de água, visto que não têm propriedades hidráulicas.". Atualmente a sua utilização caiu um pouco em desuso (exceto na reabilitação) devido ao aparecimento de novos ligantes, incidindo a sua utilização na mistura com gesso no fabrico de estuques, na mistura com cimento ou cal hidráulica na produção de argamassas de rebocos (confere plasticidade à mistura), na mistura com pozolanas para produção de ligante hidráulico e na caiação de muros, (Almeida, 2010).
A Cal Hidráulica é feita a partir de calcário que coze a 1000ºC e contém também uma percentagem de argila na sua constituição, podendo o teor de argila variar entre os 5% e os 20%. As cais hidráulicas são "cais constituídas principalmente por hidróxido de cálcio, silicatos de cálcio e aluminatos de cálcio, produzidas pela mistura de materiais apropriados. Têm a propriedade de fazer presa e endurecer debaixo de água. O dióxido de carbono atmosférico contribui para o processo de endurecimento", segundo a norma NP EN 459-1:2005. As principais aplicações que têm atualmente são ao nível do revestimento e assentamento de alvenaria, (Almeida, 2010)
O cimento é sem dúvida o ligante mais utilizado em argamassas. Este trata-se de um ligante hidráulico e é obtido através da mistura de calcário e argila (60% a 80% de calcário e o restante de argila) que depois é submetida a temperaturas da ordem dos 1400ºC-1500ºC de onde se obtém o clinquer que posteriormente se mói muito fino. No final normalmente adiciona-se um retardador de presa e outros aditivos.
No quadro 2 podemos encontrar os ligantes mais comuns e as suas principais vantagens e desvantagens.

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens de diferentes tipos de ligantes das argamassas

Ligante	Vantagens	Desvantagens
Gesso	- Não retrai - Bom isolante térmico - Resistente ao fogo	- Não resiste à humidade - Má aderência em superfícies lisas - Corrói o aço e o ferro
Cal Aérea	- Melhor trabalhabilidade - Retenção de água adequada -Módulo de Elasticidade baixo - Fissuração reduzida (hidrata ao longo do tempo) - Permeável ao vapor de água	- Não endurece na água -Endurecimento demorado (principalmente se humidade relativa elevada)
Cal Hidráulica	- Endurece debaixo de água - Boa trabalhabilidade - Boa aderência - Menores variações dimensionais	- Menor resistência à compressão que o cimento
Cimento	- Adquire elevadas resistências mecânicas - Baixa absorção capilar	- Resistências mecânicas demasiado elevadas - Baixa deformabilidade - Baixa permeabilidade ao vapor de água - Libertação de sais solúveis

Adaptado de (Almeida, 2010) e (Faria *et al.*, 2012)

- Agregados

Um agregado é uma partícula granular que pode ter diferentes dimensões, é não coesivo e quimicamente considera-se neutro.

O objectivo por detrás da introdução de agregados na argamassa prende-se com a diminuição do custo relativamente a uma mistura só de cimento e água. A introdução de agregados com uma granulometria adequada e boa compacidade faz com que se reduza os vazios, o que por sua vez faz com que seja necessário introduzir menos cimento para aglomerar as outras partículas.

Os agregados podem ser de origem natural ou artificial. Os de origem natural são os que não sofreram processos de tratamento ou modificação. Alguns exemplos são a areia, a brita, godo e areias britadas. Os de origem artificial são minerais que receberam algum tipo de tratamento, por exemplo, tratamento térmico. Como exemplos encontra-se as cinzas volantes, escórias e subprodutos da combustão do carvão.

Recentemente surgiu outro tipo de agregados, os agregados reciclados. Os agregados reciclados derivam do reaproveitamento de materiais de construções demolidas. Um exemplo de agregado reciclado é o betão endurecido triturado.

Os agregados podem ter origem em diferentes rochas.

As areias argilosas conferem maior trabalhabilidade, no entanto as características mecânicas das argamassas são apenas razoáveis pois embora os finos de argila confiram boa resistência mecânica estes obrigam também a aumentar a quantidade de água de amassadura.
A areia de areeiro é mais angular em comparação com a areia do rio que é mais rolada. Ao ser mais rolada a areia do rio confere menos resistência mecânica à argamassa. As areias mais angulares permitem um maior rearranjo das partículas e uma maior resistência mecânica da argamassa. As areias siliciosas sendo do areeiro ou do rio são os agregados preferenciais para produção de argamassa, (Almeida, 2010).

- Água de Amassadura

A quantidade e as características da água de amassadura de uma argamassa são preponderantes para o comportamento da argamassa e suas características. A água não deve conter cheiro nem sabor, sendo preferencialmente água potável. Não deve conter vestígios de outras substâncias tais como argila e matéria orgânica, (Almeida, 2010).
Quanto à quantidade de água, devemos utilizar a menor quantidade de água possível mas tendo em vista obter a trabalhabilidade, tempo de presa e desenvolvimento das propriedades mecânicas adequados para a argamassa. Se a água for excessiva aumenta a porosidade, diminuindo a compactidade, aumentando a permeabilidade e a retração, e diminuindo as resistências mecânicas das argamassas.

- Aditivos e Adjuvantes

Os aditivos e adjuvantes têm como papel conferir determinada característica ou propriedade à argamassa através da adição de pequenas quantidades destes produtos.
Enquanto que o adjuvante pode ser um material orgânico ou inorgânico e atua modificando as propriedades da argamassa fresca ou endurecida, o aditivo é inorgânico e é adicionado a uma argamassa com o objectivo de obter ou melhorar determinadas propriedades, (Almeida, 2010).

2.3. ARGAMASSA DE REBOCO EXTERIOR

2.3.1. DEFINIÇÃO E CONCEITOS

Como já foi referido o objectivo do trabalho passa por analisar o comportamento das argamassas no seu estado endurecido de forma a analisarmos os revestimentos exteriores de fachadas.
Segundo o (Instituto Português da Qualidade, 2010) os diferentes tipos de reboco distribuem-se da seguinte forma:

- Argamassa de uso geral para rebocos exteriores interiores (GP)
- Argamassa leve para rebocos exteriores e interiores (LW)
- Argamassa de cor para rebocos (CR)
- Argamassa monomassa para rebocos exteriores (OC)
- Argamassa de renovação para rebocos (R)
- Argamassa de isolamento térmico para rebocos (T)

Segundo (Margalha, [s.d.]) os rebocos tradicionais são normalmente constituídos por mais que uma camada. As camadas que os constituem costumam ser três e as suas características vão se alterando à medida que se aproximam da superfície. Do suporte para o exterior a resistência mecânica da argamassa vai diminuindo por se utilizar menor quantidade de ligante ou agregados mais finos. Normalmente as camadas de reboco subdividem-se da seguinte forma.

Quadro 3 – Camadas de uma argamassa

Camada	Outras Designações	Características	Funcionalidade
Chapisco	Salpico Emboco Crespido Camada de aderência	- Muito fluída - Rugosa - Grande quantidade de ligante	-Homogeneizar a absorção do suporte -Estabelecer ligação com o suporte (alvenaria)
Emboço		- Camada mais espessa (pode ser composta por varias camadas) - Acabamento não muito liso para dar aderência à última camada	- Regularização -Impermeabilização
Reboco		- Granulometria mais fina da areia ou menor quantidade de ligante	- Dá a cor e textura pretendida

*A informação do quadro foi retirada de (Almeida, 2010).

Segundo a norma NP EN 998-1:2013, "As argamassas para rebocos exteriores/interiores não adquirem as suas características definitivas senão após adequado endurecimento depois da aplicação" daí que se tenha de esperar pelo menos 28 dias para realizar ensaios para medir as suas propriedades.

Segundo (Rodrigues e Fernando M. A. Henriques, 2006) um revestimento em argamassa deve caracterizar-se por:

-Módulo de elasticidade relativamente baixo;

-Boa capacidade de relaxação;

-Impermeável à água liquida (baixa absorção capilar)

-Permeável ao vapor

-Boa resistência mecânica

-Boa aderência ao suporte e entre camadas de revestimento

-Boa resistência química

-Absorção de água lenta e fácil secagem

-Baixa composição em sais solúveis,

-Resistência a ciclos de gelo e degelo

-Tempo de presa suficientemente curto de forma a prevenir o aparecimento de detiorações provocadas por resistências iniciais insuficientes;

-Resistência à colonização biológica (conseguida através da introdução de adjuvantes e de uma secagem rápida)

2.3.2. PROPRIEDADES

As propriedades apresentadas neste capítulo referem-se à argamassa no seu estado endurecido, (Instituto Português da Qualidade, 2010) e (Freitas, Miranda e Teles, 2014).
Segundo a norma NP EN 998-1:2013 as principais características que têm influência no comportamento das argamassas são as expostas abaixo.

- Massa Volúmica (kg/m^3)
- Resistência à compressão (N/mm^2)
- Aderência (N/mm^2)
- Aderência após ciclos de envelhecimento (N/mm^2)
- Absorção de água por capilaridade ($kg/m^2.min^{0,5}$ após 24h)
- Reação ao fogo
- Penetração de água após ensaio de absorção de água por capilaridade (mm)
- Permeabilidade de água após ciclos de envelhecimento (ml/cm^2 após 48h)
- Permeabilidade ao vapor de água
- Condutibilidade Térmica (W/m.K)
- Durabilidade (Resistência ao gelo degelo)

Estas são as propriedades que têm de estar dentro dos valores especificados na referida norma com vista à marcação CE. Os valores obtidos e os valores limite para cada uma destas propriedades variam consoante o tipo de reboco.

- Limites Normativos

Abaixo vamos introduzir dois quadros, um com os valores limite e com a identificação das categorias e outro com os valores limite por propriedade e por tipo de reboco. Estes quadros adaptados da norma NP EN 998-1, não se colocou o quadro original na íntegra pois apenas se retirou a parte correspondente às propriedades hídricas e mecânicas sobre o qual este projeto vai incidir.

Quadro 4 – Definição de categorias pela norma (NP 998-1)

Propriedades	Categorias	Valores
Absorção de água por capilaridade	W0	não especificado
	W1	$C \leq 0{,}40\ kg/m^2.min^{0,5}$
	W2	$C \leq 0{,}20\ kg/m^2.min^{0,5}$

Quadro 5 – Resumo dos Requisitos segundo a NP 998-1 para argamassas endurecidas

		Tipo de Argamassa					
Parâmetro de Ensaio	Método de Ensaio	GP	LW	CR	OC	R	T
Aderência (N/mm^2)	EN 1015-12	≥ valor declarado			-	≥ valor declarado	
Absorção de Água por Capilaridade (categorias)	EN 1015-18	W0 a W2			W1 a W2	≥ 0,3kg/m^2 após 24h	W1
Coeficiente de Permeabilidade ao Vapor de Água (μ) (Fator de Resistência à Difusão de Vapor)	EN 1015-19	≤ valor declarado				≤15	

Como podemos ver nos quadros anteriores existem poucos limites recomendados pela norma e muitas propriedades sem qualquer tipo de limitação.

No caso da permeabilidade ao vapor apenas é imposto um valor limite de 15 para o fator de resistência à difusão para argamassas de renovação de rebocos (R) e argamassas de isolamento térmico para rebocos (T), no entanto e sabendo que provavelmente as argamassas que se vai estudar não pertencem a essas classes, decidiu-se admitir para a nosssa análise o número 15 como limite superior pois é o único limite que se encontra para este parâmetro.

No caso da absorção de água por capilaridade temos os dois limites W1 e W2 que se vai considerar na análise.

No caso da aderência por tração utilizou-se o critério da norma DTU 26.1 de 1990 que impõe um mínimo de 0,3 MPa. No entanto é importante fazer referência que apenas encontrei este limite não tendo encontrado em nenhuma publicação mais recente um limite para esta propriedade.

No próximo capítulo decidiu fazer-se uma recolha bibliográfica de valores destas propriedades de forma a tentar encontrar um intervalo de valores que possa servir de referência face aos valores que vão ser disponibilizados experimentalmente para as argamassas em estudo. Como não se teria tempo de fazer uma recolha exaustiva de todos os tipos de argamassa decidiu-se assim subdividir as argamassas segundo o seu ligante, não sendo consideradas as argamassas bastardas, pretendeu-se caracterizar apenas as argamassas de base cimentícia, de cal aérea e de cal hidráulica.

3

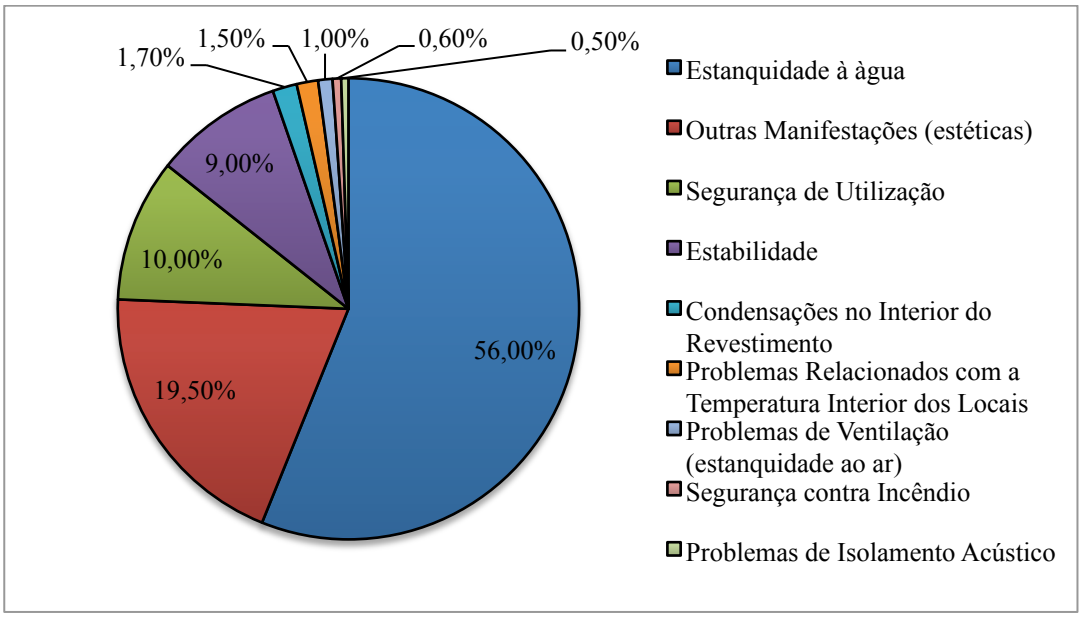
PATOLOGIAS EM REVESTIMENTOS EXTERIORES DE FACHADAS

3.1. PATOLOGIAS EM ARGAMASSAS

3.1.1. DEFINIÇÃO E CONCEITOS

Na construção civil aplica-se o termo patologia ao estudo dos danos, imperfeições e anomalias que ocorrem em edifícios e outras obras da construção civil.

Segundo (Observatoire de la Qualité de la Construction, 2014), a distribuição das patologias, atendendo à sua causa, é a definida na figura 3.



*Adaptado de (Observatoire de la Qualité de la Construction, 2014)

Fig. 3 – Distribuição das patologias consoante a sua origem

Segundo (Almeida, 2010) e (*Patorreb*, [s.d.]) As principais manifestações patológicas das argamassas utilizadas em revestimentos exteriores são:

- Fendilhação
    - Retração inicial de secagem da argamassa;
    - Variações dimensionais diferenciais entre dois suportes diferentes;
    - Erros na aplicação da argamassa;
    - Assentamentos diferenciais das fundações;
    - Deformação da sistema estrutural;
    - Expansão da argamassa das juntas de assentamento do pano de alvenaria;
- Descolamento e Empolamento do Revestimento
- Aparecimento de Manchas
    - Ocorrência de carbonatação da argamassa;
    - Aparecimento de eflorescências e criptoflorescências;
- Aparecimento de Sombreamento ou Transparências associado às juntas do suporte
- Colonização Biológica
- Diferença na tonalidade da superfície rebocada

No âmbito deste projeto vai ser estudado com especial interesse as anomalias que estão diretamente relacionadas com as características das argamassas. No entanto como a argamassa faz parte de um sistema e as patologias ocorrem nesse sistema temos de o estudar como um todo.

3.1.2. FENDILHAÇÃO

A fendilhação de uma argamassa caracteriza-se pela abertura de pequenas fendas superficiais que podem ter diversas origens. A ocorrência de fendilhação está diretamente relacionada com a capacidade da argamassa de resistir a esforços de tração. Consoante a origem das fissuras estas irão organizar-se no espaço de forma diferente.

A fendilhação pode dar-se devido à colocação de argamassas sobre substratos com diferentes variações dimensionais. Caso as argamassas não tenham elasticidade suficiente para aguentar esta tensão de tração ocorre a rotura sobre a forma de fendilhação, (Veiga, 1998).

Outra das causas da fendilhação são os assentamentos diferenciais ao nível das fundações. Recomenda-se uma análise cuidada do solo antes de se projetar as fundações do edifício.

Quando a fissuração tem origem no suporte como é o caso do aparecimento de fendas devido a deformações dos elementos estruturais, elas situam-se essencialmente nos cantos dos vãos.

As fissuras causadas pela retração de secagem da argamassa, processo endógeno que se dá aquando a secagem da argamassa, são generalizadas e sem orientação preferencial adoptando uma configuração semelhante a um mapa.

Aquando da retração da argamassa geram-se esforços de tração induzidos pela aderência a um suporte rígido, restringido a retração natural desta, podendo conduzir a fendilhação. Logo quanto maior a retração da argamassa e a razão módulo de elasticidade resistência à tração, maior será a probabilidade de ocorrer fendilhação, (Veiga, 1998).

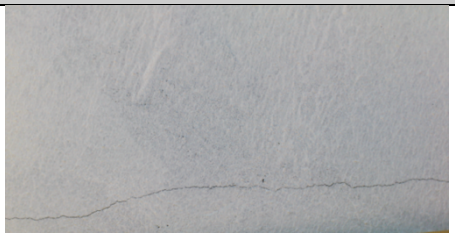
Outro fator importante é a aderência, pois quanto maior a aderência menor será a susceptibilidade de ocorrer fendilhação em pontos singulares, pois a distribuição dos esforços é mais eficaz.

O poder de retenção de água é um parâmetro a ter em conta na avaliação de uma argamassa, pois quanto maior for menores são os riscos de dissecação prematura, evitando-se assim a fendilhação.

As condições ambientais a que as argamassas estão expostas têm influência no seu comportamento.

Em suma, para que a argamassa tenha uma boa resistência à fendilhação deve ter um módulo de elasticidade reduzido, uma retração reduzida e uma boa aderência. O que se pretende é minimizar as tensões introduzidas pela retração da argamassa e fazer com que a capacidade de deformação do material consiga dissipar as forças de tração que se geram sem que se atinja a rotura e com isso a fendilhação, (Veiga, 1998).

Quadro 6 – Diferentes tipos de fissuras

Causa	Tipo de Fissura	Imagem/Exemplo
Materiais de suporte diferentes	Horizontal e coincidente com junta de assentamento;	 (*forumdacasa.com*)
Retração do revestimento	Verticais e horizontais (“mapeado”);	 (*encrypted-tbn2.gstatic.com*)
Deformação estrutural	Fendas que aparecem a partir de cantos e de vãos abertos	 (Freitas, Miranda e Gonçalves)
Assentamentos diferenciais das Fundações	Verticais e horizontais (depende da situação)	 (*encrypted-tbn1.gstatic.com*)

Critérios que podem ser utilizados na previsão de abertura de fendas.

1) Relação retração, módulo de elasticidade dinâmico e razão entre módulo de elasticidade dinâmico e resistência à tração por flexão (E/Rt)

Este critério baseia-se no principio de que a tendência à fendilhação é tanto maior quanto maior for a tensão desenvolvida na argamassa devido à retração restringida e quanto menor for a capacidade desta à tracção.

Quadro 7 – Quadro sobre susceptibilidade de fendilhação

CARATERISTÍCA (aos 28 dias)	CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO		
	Fraca susceptibilidade à fendilhação	Média susceptibilidade à fendilhação	Forte susceptibilidade à fendilhação
Retração de Secagem $\Delta l/l$ (mm/m)	$\Delta l/l \leq 0,7$	$0,7 < \Delta l/l < 1,2$	$\Delta l/l \geq 1,2$
Módulo de elasticidade E (MPa)	$E \leq 7000$	$7000 < E < 12000$	$E \geq 12000$
Módulo de elasticidade/Resistência à tração por flexão E/R_t	$E/R_t \leq 2500$	$2500 < E/R_t < 3500$	$E/R_t \geq 3500$

*O quadro 7 foi retirado de **(Veiga, 1998)**.

Este critério é semi-empírico e concluiu-se ser excessivamente simplista e não se adequar a determinados revestimentos. Um dos casos de inadequabilidade do critério são as argamassas tradicionais (feitas em obra) que por terem módulos de elasticidade elevados seriam classificados como com forte susceptibilidade à deformação e no entanto estas apresentam comportamento quanto à fendilhação razoáveis, (Veiga, 1998).

2) Baseado na relação entre a resistência à tração (Rt) e a resistência à compressão (Rc)

As argamassas são caracterizadas por terem uma maior resistência à compressão do que à tração. Através do quociente entre a resistência à tração e a resistência à compressão conseguimos ter informação sobre a ductilidade do revestimento. Quanto mais próximo de um estiver esta razão mais dúctil é o material. Sendo a dutilidade a capacidade de deformação do material antes da rotura, este quociente dá-nos informação acerca da susceptibilidade de ocorrência de fendilhação por retração. Em suma, este quociente dá-nos informação sobre a capacidade do revestimento suportar as deformações impostas. Esta avaliação é feita em termos relativos pois não existe nenhuma escala predefinida para este critério, (Veiga, 1998).

Este quociente pode variar entre os 0,1 e os 0,4 para revestimentos novos e deve ser aproximadamente 1 para revestimentos para reabilitação.

O quadro 8 é uma síntese dos dados apresentados acima, (Veiga, 1998) e (Almeida, 2010).

Patologia	Propriedades da argamassa que influenciam o aparecimento da patologia	Relação	Condições externas	Justificação
Fissuração do Revestimento (*static.habitissimo.com.br*) 	Resistência à Tração (Rt)	- Maior a resistência à tração - Menor probabilidade de ocorrer fendilhação	Variações de temperatura	- Grandes variações de temperatura favorecem o aparecimento de fendas
	Módulo de Elasticidade (E)	- Menor módulo de elasticidade - Menor probabilidade de ocorrer fendilhação		
	Aderência	- Maior aderência ao suporte - Menor probabilidade de ocorrer fendilhação		
	Retenção de água	- Maior poder de retenção de água - Menor risco de secagem prematura da argamassa - Menor probabilidade de ocorrer fissuração		
	Retração de secagem (variações dimensionais)	- Menor retração - Menor probabilidade de fendilhação		

Quadro 8 – Fissuração e relação com as propriedades das argamassas

* Este quadro foi feito com recurso a (Almeida, 2010) e (Veiga, 1998)

3.1.3. EFLORESCÊNCIAS E CRIPTOFLORESCÊNCIAS

As eflorescências e criptoflorescências são dos fenómenos patológicos que mais se encontram em edifícios antigos, (Gonzalez e Rodrigues, 2006).

As eflorescências caracterizam-se pelo aparecimento à superfície de manchas esbranquiçadas de sais solúveis. Esta patologia baseia-se na existência em simultâneo de sais solúveis e humidade. Ao dar-se a cristalização dos sais solúveis formam-se eflorescências ou criptoflorescências dependendo se a cristalização ocorre à superfície, formando-se assim eflorescências, ou no interior dos poros dos materiais de construção formando-se assim criptoflorescências, (Gonzalez e Rodrigues, 2006).

Quando o fluxo de solução salina que atravessa o material é maior que a quantidade de solução que evapora à superfície do material, os sais remanescentes cristalizam e formam manchas esbranquiçadas, denominadas eflorescências. Ao contrário quando a taxa de secagem é superior à taxa de fornecimento de solução salina os cristais desenvolvem-se no interior dos poros dando origem a criptoflorescências, (Gonzalez e Rodrigues, 2006).

Os sais podem ser provenientes de diversos sítios tais como do solo, da água do mar, do nevoeiro salino, da poluição atmosférica, dos próprios materiais de construção ou de produtos armazenados na proximidade (produtos alimentares salgados, pesticidas, dejectos de animais, etc.).

Estas patologias podem originar problemas estéticos, e de habitabilidade, assim como a perda progressiva e generalizada de vestígios históricos e artísticos, e em casos extremos a segurança estrutural dos edifícios.

As manifestações presentes nos revestimentos devido à existência destas patologias são alterações superficiais como manchas, fendilhação, delaminação, esfoliação, destacamento de camadas de reboco relacionada com a perda de coesão entre a argamassa e o suporte.

Os sintomas de degradação associados à ocorrência de criptoflorescências de forma ciclíca provoca a fadiga dos materiais e a sua sucessiva degradação.

A solubilidade dos sais depende da temperatura, pelo que se observarem temperaturas baixas é menos provável que ocorra a cristalização, (Gonzalez e Rodrigues, 2006).

As características do meio físico em que ocorre o fenómeno pode condicionar muito a forma como se desenvolve a degradação pois as características hídricas do material condicionam a migração da solução salina e a resistência mecânica atua ao nível da resistência às tensões geradas nos poros.

Quando a cristalização ocorre no interior dos poros observa-se um aumento de volume que introduz tensões internas nos materiais degradando a estrutura do material.

A forma como se manifestam as eflorescências é condicionada por determinados factores que determinam o tipo de anomalias e sintomas que ocorrem provenientes da patologia em estudo. Estes factores são as condições higrotérmica, a radiação solar, a velocidade e direção de circulação do ar.

As argamassas são materiais frequentemente sujeitos a estas patologias pois são materiais porosos, são materiais higroscópicos, ou seja, são materiais que tendem a absorver a humidade do ar ficando esta

humidade retida no material. Os materiais higroscópicos só param de absorver moléculas de água quando estão em equilíbrio com a humidade relativa do ambiente, (Gonzalez e Rodrigues, 2006).

Em suma, as argamassas têm tendência a captar água presente na atmosfera pois são porosas.

No quadro 9 fez-se uma síntese dos principais factores que podem estar na origem da patologia em causa.

Patologia	Propriedades da argamassa que influenciam o aparecimento da patologia	Relação	Condições externas	Justificação
Aparecimento de Manchas Esbranquiçadas e Degradação do Revestimento (Eflorescências e Criptoflorescências)   (Freitas e Alves)	Porosidade	- Maior a porosidade - Maior a absorção de água	Temperatura	- Maior temperatura - Maior probabilidade de ocorrer a cristalização dos sais;
	Higrospicidade	- Maior a higrospicidade - Maior a capacidade de retenção de água	Humidade Relativa	- Maior a humidade relativa - Maior a propensão à adsorção de água
	Características hígricas (absorção capilar, permeabilidade ao vapor)	Condicionam o fluxo de água no material	Presença de sais	- Presença de sais (mais comum em elementos próximos do solo.)
	Resistência à tração	- Maior resistência à tração - Menor probabilidade de ocorrência desta patologia		

Quadro 9 – Quadro síntese de eflorescências e criptoflorescências

*Informação contida no quadro 9 foi retirada de (Gonzalez e Rodrigues, 2006).

Refere-se que estes quadros síntese correspondem à minha interpretação da informação da bibliografia e só estudos complementares os permitirá validar.

3.1.4. EMPOLAMENTO E OU DESTACAMENTO DO REVESTIMENTO

O descolamento do revestimento está intimamente relacionado com a sua durabilidade e com a perda de aderência a longo prazo. O descolamento pode ter diversas causas, tais como movimentos diferenciais entre o revestimento e o suporte que podem por exemplo ser causados pela retração do reboco ou pela retração ou fluência do suporte, (Paulo, 2006).

Outra das causas de descolamento do revestimento é a existência de uma diferença acentuada entre os módulos de elasticidade do revestimento e do suporte. O revestimento ao ser submetido a tensões impostas pelo suporte vai deformar-se rapidamente e como o suporte (que é mais rígido) não acompanha esta deformação observa-se um empolamento da camada de revestimento. Por detrás deste fenómeno também podem estar a preparação incorreta do produto, a adição indevida de outras substâncias, o excesso de água de amassadura ou a repetição da amassadura da argamassa quando esta já se encontrava endurecida, (Paulo, 2006).

As características do suporte têm influência na ocorrência de empolamentos ou descolamentos pois se o suporte tiver resíduos, estiver muito quente, tiver humidade insuficiente ou pelo contrário estiver saturado de água a probabilidade de ocorrer um destes fenómenos é maior.

Quadro 10 – Quadro síntese de descolamento e empolamento

Patologia	Propriedades da argamassa que influenciam o aparecimento da patologia	Relação	Condições externas	Justificação
Descolamento Empolamento  (Freitas e Alves)  (*acessa.com*)	Variação volúmica	- Maior retração da argamassa - Maior probabilidade de ocorrer a patologia	Módulo de elasticidade de suportes distintos dos da argamassa	As camadas têm deformações diferentes podendo levar à ocorrência destas manifestações
	-	-	Movimentos diferenciais entre revestimentos e suportes	Estes movimentos entre camadas formam esforços de cisalhamento que se podem manifestar através empolamento ou descolamento da argamassa
	-	-	Preparação incorreta da argamassa	-Adição indevida de outras substâncias - Excesso de água de amassadura - Reamassadura da argamassa quando já se encontra a endurecer
	-	-	Características do suporte	- Superfície muito quente - Superfície sem humidade suficiente - Superfície saturada de água

*Informação retirada de (Paulo, 2006).

Refere-se que estes quadros síntese correspondem à minha interpretação da informação da bibliografia e só estudos complementares os permitirá validar.

3.1.5. COLONIZAÇÃO BIOLÓGICA

O aparecimento de fungos, algas e bolores manifesta-se através de manchas escuras, esverdeadas ou acastanhadas.

Os fungos ocorrem preferencialmente em fachadas com fraca exposição solar e expostas a humidade elevada, ou seja em fachadas voltadas a norte. Proliferam rapidamente em ambientes quentes e húmidos. Já as algas proliferam no exterior na presença de humidade e luz solar.

A perda de eficiência ou a falta de aditivo fungicída algicída, que deveria ser adicionado à argamassa, são possíveis causas. Por vezes não se adicionam aditivos em quantidade suficiente na argamassa devido ao seu preço ser alto e por razões ambientais, (Paulo, 2006).

Quadro 11 – Quadro Síntese Colonização Biológica

Patologia	Propriedades da argamassa que influenciam o aparecimento da patologia	Justificação	Condições externas	Justificação
Manchas escuras esverdeadas ou acastanhadas (fungos, bolores, algas)	-	-	- Fraca exposição solar - Humidade elevada (Chuva e condensações exteriores)	Estes factores favorecem o aparecimento destes organismos
 (Freitas e Sousa)	-	-	-Perda de eficiência -Inexistência de aditivos fungicídas e algicídas	- Produtos dispendiosos - Não se adicionam na quantidade adequada

*Informação recolhida de (Paulo, 2006)

Refere-se que estes quadros síntese correspondem à minha interpretação da informação da bibliografia e só estudos complementares os permitirá validar.

3.1.6. APARECIMENTO DE MANCHAS

O aparecimento de manchas no reboco pode ter várias causas tais como a libertação de cal presente na argamassa durante a presa do cimento ou o aparecimento de eflorescências (ver subcapítulo Eflorescências e Criptoflorescências).

As manchas no reboco originárias da libertação da cal durante a presa do cimento derivam da tendência que a cal presente na argamassa tem a se libertar se a argamassa for aplicada em condições atmosféricas desfavoráveis, ou seja com baixas temperaturas e humidade elevada. Nestas condições a secagem é mais demorada ocasionando o transporte de sais até à superfície e a formação de manchas.

Existem também manchas que coincidem com as juntas do suporte e estas podem ser observadas em paramentos cujo pano exterior da parede é de alvenaria. Quando estas manchas são esbranquiçadas são vulgarmente denominadas de "fantasmas", (Freitas e Alves). Na origem desta anomalia pode estar a espessura de revestimento ser muito reduzida.

Outra causa provável para o aparecimento é a má execução das juntas de alvenaria ou a argamassa utilizada nas juntas de assentamento da argamassa ter uma permeabilidade à água demasiado elevada. Se a argamassa das juntas for bastante permeável poder-se-á observar uma diferença de tonalidade na argamassa entre as juntas e o elemento de alvenaria porque haverá uma absorção diferente da componente líquida da argamassa. (Freitas e Alves).

Quadro 12 – Quadro síntese aparecimento de "fantasmas" ou outras marcas escuras em revestimento

Patologia	Propriedades da argamassa que influenciam o aparecimento da patologia	Justificação	Condições externas	Justificação
Aparecimento de "fantasmas" ou outras manchas escuras em revestimento	-	-	Espessura de argamassa reduzida	- Opacidade do revestimento comprometida (aparecimento de "fantasmas")
 (Freitas e Alves)	-	-	Suportes com coeficientes de absorção de água diferentes	- Denota-se a transição entre os diferentes suportes (aparecimento de "fantasmas")
 (Freitas e Alves)			Termoforese	- Depósito diferencial de poeiras (aparecimento de manchas escuras) devido à diferença de condutibilidade térmica do tijolo e da argamassa da junta

*Quadro elaborado com recurso a informação de (Freitas e Alves) e (Freitas e Alves).

Refere-se que estes quadros síntese correspondem à minha interpretação da informação da bibliografia e só estudos complementares os permitirá validar.

3.1.7. DIFERENÇAS DE TONALIDADE

Manifestam-se através da alteração da cor ao longo da superfície rebocada e podem ter origem na exposição a grandes variações de temperaturas e humidade ou na variação da forma como foi realizado o acabamento. Podem também ter ocorrido variações na preparação da argamassa, tais como variação da quantidade de água ou variação do método ou tempo de amassadura, (Paulo, 2006).

Quadro 13 – Quadro síntese diferenças de tonalidade

Patologia	Propriedades da argamassa que influenciam o aparecimento da patologia	Justificação	Condições externas	Justificação
Diferenças de tonalidade da superfície rebocada	-	-	Grandes variações de temperatura e humidade	- Faz variar as características da argamassa
	-	-	Variações na preparação da argamassa	- Provocam a variação das características da argamassa (nomeadamente a tonalidade)

*Quadro realizado com recurso a (Paulo, 2006).

Refere-se que estes quadros síntese correspondem à minha interpretação da informação da bibliografia e só estudos complementares os permitirá validar.

3.1.8. SÍNTESE

Como podemos ver existem diferentes patologias e diferentes causas que lhes podem estar associadas.

Com a informação apresentada neste subcapítulo conseguimos ter uma estimativa de quais os parâmetros mais importantes no aparecimento de patologias e quais os ensaios que a parte experimental deste trabalho deve estar dotada.

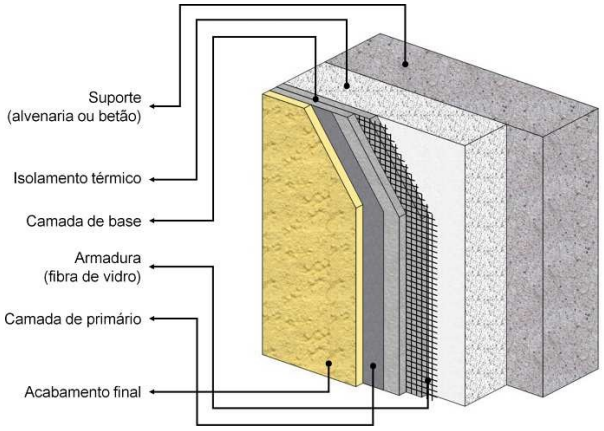
Como vimos o módulo de elasticidade, a resistência à tração, as variações dimensionais e a espessura de camada de ar de difusão equivalente são fatores que têm maior influência no aparecimento de patologias. Daí que sejam os que tenham maior interesse para caraterizar o comportamento das argamassas quanto à susceptibilidade de ocorrência de determinada patologia.

PATOLOGIAS EM SISTEMAS ETICS

3.2.1. DEFINIÇÃO E CONCEITOS

Neste subcapítulo vamos analisar também as patologias dos ETICS. Esta sigla traduz-se em português por "Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior".

O sistema ETICS é um sistema de isolamento térmico pelo exterior composto por várias camadas. A configuração e a identificação das diferentes camadas encontram-se na figura 4.



* Retirada de (Freitas e Miranda, 2014).

Fig. 4 – Sistema ETICS

Este sistema é muito utilizado porque é colocado pelo exterior logo não retira espaço útil ao interior do edifício e a sua colocação, se estivermos a falar em reabilitação, causa menos transtorno aos habitantes do que a colocação de isolamento pelo interior. Outras das razões que pode estar por detrás do crescimento da sua utilização prende-se com o seu custo por unidade de área não ser muito elevado e porque confere aos edifícios um aspecto estético tradicional e maior eficiência energética. Termicamente resulta muito bem pois ao se tratar de um sistema de isolamento térmico pelo exterior tem melhor comportamento de Inverno pois mobiliza a inércia térmica da envolvente opaca interior do edifício utilizando-se assim menos energia em aquecimento. No Verão o edifício não aquece tanto no interior pois embora as camadas externas aqueçam rapidamente o suporte tem maior inércia térmica mantendo-se a temperaturas inferiores.

No sistema ETICS utilizam-se argamassas com polímeros de reduzida espessura daí que seja interessante estudar este tipo de revestimentos de fachadas e suas patologias.

As principais patologias que se encontram prendem-se com incorreta concepção ou aplicação ou prendem-se até com características do sistema.

Logo neste capítulo vamos fazer apenas um breve resumo sobre cada patologia de ETICS.

As fichas realizadas no âmbito do projeto "Patorreb" e em que se baseou este subcapítulo podem ser consultadas em (Freitas e Miranda, 2014).

Cada causa associada a uma patologia é acompanhada da referência da ficha de patologia que se encontram no documento (Freitas e Miranda, 2014). Neste subcapítulo faremos apenas uma sumária descrição pois a informação sobre este assunto é escassa.

As principais patologias de ETICS são:

- Fissuração do Revestimento
- Destacamento e/ou Empolamento do Revestimento
- Deterioração do tratamento das juntas
- Infiltrações
- Fungos, Bolores e Algas
- Perfuração do Sistema

3.2.2. FISSURAÇÃO DO REVESTIMENTO

Caracteriza-se pela abertura de fissuras na camada de argamassa de revestimento. No caso do sistema ETICS existem várias causas que podem estar na origem desta patologia. No quadro 14 na última coluna encontra-se a referência da ficha de patologia que se encontram em (Freitas e Miranda, 2014).

Quadro 14 – Fissuração em sistema ETICS

Patologia	Causa	Descrição	Ref.ª
Fissuração	Inadequação da aplicação do sistema em superfícies horizontais	Elevada área exposta a condições climatéricas para as quais este sistema não tem um comportamento aceitável	A11
	Ausência de armaduras em pontos singulares	Ausência de armadura, por exemplo, nos cantos dos vãos	A03
	Alteração da cor do revestimento	Fissuras correspondem às juntas verticais ou horizontais entre painéis de isolamento térmico. Está relacionado com a absorção da radiação solar sendo mais frequente quando o revestimento é escuro.	A02
	Deficiente aplicação dos perfis de arranque do sistema	Fissuras entre as juntas e perfis de arranque e entre os perfis e os suportes. Deve-se a deficiente execução das juntas entre perfis ou deficiente remate na base do elemento.	A12
	Expansão térmica dos materiais do sistema	Aparecimento de fissuras nas juntas de isolamento térmico. Acontece quando a colagem é descontínua.	A01
	Incorreto tratamento de juntas de dilatação	As juntas do sistema ETICS não coincidem com as juntas estruturais do edifício. Sistema não acompanha os movimentos da junta de dilatação fissurando.	A10
	Instabilidade do Suporte	Exemplos de causas de instabilidade: - desnível entre paramento exterior e topo da laje que gera deficiente colagem do isolamento térmico - posicionamento incorreto da armadura em relação à espessura do reboco - espessura de reboco insuficiente	A14
	Reduzida espessura do revestimento	Aparecimento de fissuras verticais com espaçamento tendencialmente constante. Deve-se a espessura de reboco insuficiente ou interseção entre panos de redes fibras de vidro menor que a adequada.	A04
	Retração da argamassa	Fissuração da camada de base do sistema ETICS devido à fissuração da argamassa dessa camada. Fissuração devido: - a módulo de elasticidade alto ou espessura reduzida da argamassa. - mau posicionamento da armadura da camada de base.	A07

* O quadro 14 foi realizado tendo como base a informação que consta em (Freitas e Miranda, 2014).

3.2.3. INFILTRAÇÕES

Caracteriza-se pela entrada de moléculas de água em elementos construtivos. No quadro 15 faz-se uma breve síntese das principais causas de ocorrência de infiltrações neste sistema. Cada causa vem associada uma ou mais "Ref.ª" que se referem à referência da ficha de patologia que podem ser consultadas em (Freitas e Miranda, 2014).

Quadro 15 – Infiltrações em sistemas ETICS

Patologia	Causa	Descrição	Ref.ª
Infiltrações	Inadequada aplicação do sistema em superfícies horizontais	Ocorrência de infiltrações devido à fissuração do sistema.	A11
	Deficiente aplicação: Aplicação de revestimento cerâmico sobre ETICS	Aparecimento de manchas e escorrências em superfícies revestidas a cerâmicos, ou manchas de humidade na face interior da parede. O descolamento dos cerâmicos pode causar as infiltrações.	A06 A08
	Deficiente conceção ou execução do sistema ETICS com as caixilharias	Aparecimento de humidade na face interior de uma parede na envolvente de um vão envidraçado. Deve-se à deficiente ligação entre o caixilho e a fachada ou a configuração das padieiras, ombreiras ou peitoris.	A09

* O quadro 15 foi realizado tendo como base a informação de (Freitas e Miranda, 2014).

3.2.4. COLONIZAÇÃO BIOLÓGICA

Observa-se o aparecimento de fungos, líquenes e ou algas em fachada de edifícios onde está o sistema ETICS implementado. No quadro 16 o campo Ref.ª corresponde à referencia da ficha de patologia de onde se retirou a informação. Estas fichas estão em (Freitas e Miranda, 2014).

Quadro 16 – Colonização Biológica em sistemas ETICS

Patologia	Causa	Descrição	Ref.ª
Colonização Biológica	Colonização Biológica e Manchas	Maior incidência em fachadas voltadas para norte ou oeste, em ambientes com elevada humidade e tempo de secagem elevado. Evitado com a utilização de produtos fungicídas/algicídas	A13

* O quadro 16 foi realizado tendo como base a informação que consta em (Freitas e Miranda, 2014).

3.2.5. DESTACAMENTO E/OU EMPOLAMENTO DO REVESTIMENTO

Consiste no empolamento e ou destacamento da camada de revestimento. As causas aparecem no quadro 17. O campo "Ref.ª" corresponde à referência da ficha de patologia de onde se retirou a informação e que pode ser consultada em (Freitas e Miranda, 2014).

Quadro 17 – Empolamento e destacamento em sistema ETICS

Patologia	Causa	Descrição	Ref.ª
Destacamento ou Empolamento do Revestimento	Cor do revestimento	Observa-se empolamento em correspondência com as juntas do isolamento térmico devido a variações dimensionais diferentes entre o isolamento térmico e as camadas exteriores.	A02
	Colagem inadequada dos ladrilhos cerâmicos sobre o sistema	Destacamento de ladrilhos devido a variação dimensional destes ser incompatível com as juntas entre eles.	A06 A08

* O quadro 17 foi realizado tendo como base a informação que consta em (Freitas e Miranda, 2014).

3.2.6. DETERIORAÇÃO DO TRATAMENTO DAS JUNTAS

No quadro 18 apresentam-se qual a principal causa que leva ao aparecimento desta patologia assim como qual a referência da ficha de patologia que consta em (Freitas e Miranda, 2014) de onde foi retirada a informação.

Quadro 18 – Deteorização do tratamento de juntas em sistema ETICS

Patologia	Causa	Descrição	Ref.ª
Deteorização do Tratamento de Juntas	Incorreto tratamento de juntas	Detioração das juntas verticais do sistema ETICS devido à falta de um perfil cobre-juntas.	A10

* O quadro 18 foi realizado tendo como base a informação que consta em (Freitas e Miranda, 2014).

3.2.7. PERFURAÇÃO DO SISTEMA

No quadro 19 apresenta-se qual a principal causa que leva ao aparecimento desta patologia assim como qual a referência da ficha de patologia que consta em (Freitas e Miranda, 2014) de onde foi retirada a informação.

Quadro 19 – Perfuração do sistema ETICS

Patologia	Causa	Descrição	Ref.ª
Perfuração do Sistema	Choque/Vandalismo	Aparecimento de perfurações pontuais em zonas acessíveis. As principais causas são de cariz acidental ou prendem-se com vandalismo.	A05

* O quadro 19 foi realizado tendo como base a informação que consta em (Freitas e Miranda, 2014).

3.2.8. MANCHAS

No quadro 20 apresenta-se uma das causas que pode levar ao aparecimento desta patologia assim como qual a referência da ficha de patologia que consta em (Freitas e Miranda, 2014) de onde foi retirada a informação.

Quadro 20 – Aparecimento de manchas em sistema ETICS

Patologia	Causa	Descrição	Ref.ª
Manchas	Aplicação inadequada do sistema em superfícies horizontais	Aparecimento de escorrências esbranquiçadas formadas devido a infiltrações	A11

* O quadro 20 foi realizado tendo como base a informação que consta em (Freitas e Miranda, 2014).

3.2.9. CONCLUSÕES

As patologias encontradas no sistema ETICS prendem-se essencialmente com defeitos de aplicação ou concepção, desenvolvendo-se essencialmente na envolvente de pontos singulares, tais como juntas de dilatação, aberturas de vãos, entre outras interseções do revestimento da fachada com elementos não verticais ou que requerem uma preocupação especial ao nível de remates.

Os pormenores construtivos da aplicação do revestimento nestes pontos singulares devem fazer parte do projeto, de modo a que a aplicação deste sistema ocorra de forma adequada e os profissionais que a estão a realizar tenham a informação necessária para executar o seu trabalho da melhor forma.

Se os engenheiros projetistas tivessem em maior atenção a pormenorização poder-se-ia evitar o aparecimento de várias patologias. Outra medida, que embora seja apenas complementar à anterior, deveria ser implementada em empresas que executam este tipo de revestimento é a oferta de formação às entidades executantes deste tipo de trabalho, dando especial importância à forma como devem ser tratadas estas zonas especificas.

Neste subcapítulo vimos também que este tipo de revestimento tende a desenvolver patologias relacionadas com a utilização, nomeadamente ao nível dos pisos térreos e em edifícios públicos devido à sua fraca resistência mecânica (fraca resistência ao choque). Dever-se-á ter este aspecto em atenção aquando da projeção do revestimento do edifício.

As demais patologias encontradas são comuns às encontradas nos revestimentos de reboco.

A utilização destes revestimento também tem no entanto algumas vantagens tais como o preço por metro quadrado não ser muito elevado, permite a colocação de isolamento térmico em edifícios antigos sem lhes retirar área útil interior, tem menor impacto no quotidiano dos habitantes do edifício aquando da sua aplicação pois esta é feita apenas pelo exterior.

A juntar às patologias que já referi e que estão especificamente associadas a este revestimento, existem outras desvantagens na utilização do sistema ETICS. Por exemplo aquando a aplicação deste sistema em edifícios antigos é, por vezes, necessário mudar as peitoris dos vãos, entre outros equipamentos que se tornam incompatíveis com a nova solução construtiva das paredes daquele edifício.

4

RESPONSABILIDADES, GARANTIAS E SEGUROS

4.1. PORTUGAL

Até 2009 em Portugal não existia qualquer regime de responsabilidades para danos na construção. A responsabilidade pelos erros cometidos e a obrigatoriedade de executar a reparação recaíam inteiramente sobre os empreiteiros e os donos de obra. A responsabilização dos autores de projetos só poderia ser realizada através de coimas previamente estipuladas nos contratos celebrados com o empreiteiro ou dono de obra, (Bento, 2009).

A Lei nº31/2009 de 3 de Julho tentou alterar esta realidade passando a estabelecer a qualificação e os deveres exigíveis às entidades responsáveis por elaboração e prescrição de projetos, pela fiscalização e pela direção de obra, (Bento, 2009).

- Garantias

Atualmente as obras particulares têm garantia de cinco anos segundo o artigo 1225º do Código Civil Português e as obras públicas podem ter 2, 5 ou 10 anos de garantia. Em ambos os casos não há nenhum seguro obrigatório, (Sousa, 2004).

Segundo o DL 267/94 de 25 de Outubro o comprador deve denunciar ao vendedor a falta de qualidade, o dano ou vício detectado no objecto de compra. O prazo para fazer a denuncia é até um ano após conhecimento do defeito ou cinco anos após entrega do objecto em causa, (Sousa, 2004).

- Responsabilidades

Devido aos inúmeros intervenientes na indústria da construção civil o processo de responsabilização torna-se mais complexo.

Segundo o artigo 483º do Código Civil Português, a responsabilidade civil contractual atua ao nível das infracções às obrigações consignadas em contrato. O dono de obra e o empreiteiro podem ser responsabilizados, (Sousa, 2004).

O empreiteiro pode ser responsabilizado por:

-Execução de obras com desrespeito pelas normas e regulamentos aplicáveis;

-Utilização de materiais de qualidade inferior aos do projeto;

-Erros de execução de obra

-Erros de concepção da obra quando o projeto é da autoria do empreiteiro;

-Incumprimento de ordem escrita da fiscalização;

-Incumprimento de cláusulas do contrato estabelecido;

O dono de obra pode ser responsabilizado por:

-Erro de conceção da obra, quando o projeto é apresentado pelo dono de obra ou este fornece dados de base inexatos que originaram deficiências no projeto. Se se tratarem de erros do autor de projeto a responsabilidade recai sobre o projetista.

- Suspender temporariamente os trabalhos, no todo ou em parte (por facto não imputável ao empreiteiro);

Segundo o artigo 1221º do Código de Contrato Português, caso a responsabilidade seja do empreiteiro o dono de obra pode exigir a reparação dos defeitos, a diminuição do preço da obra ou até a resolução do contrato (não pagando assim ao empreiteiro). No entanto esta última só acontece se a inadequação se limitar a uma parte da obra de extrema importância, (Sousa, 2004).

Segundo o artigo 1225º do Código de Contrato Português (DL 267/94), acrescenta responsabilidade ao "terceiro adquirente", ou seja passa obrigações contratualmente assumidas pelo empreiteiro com o dono de obra para os sucessivos proprietários, (Sousa, 2004).

- Seguros

Os seguros têm como propósito cobrir danos da construção. Em Portugal este sector precisa de implementar um sistema que transfira os riscos associados à construção para as seguradoras.

Em obras particulares não existe disposição legal de celebração de um contrato de seguro.

Em obras públicas os seguros necessários são definidos pelo caderno de encargos e pelo dono de obra.

Segundo a lei 31/2009 é obrigatório contratar seguros de responsabilidade civil extracontratual por parte de técnicos responsáveis pela coordenação, elaboração e subscrição de projetos, assim como pela fiscalização de obra pública e particular e pela direção de obra, de forma a ressarcir de danos causados a terceiros por atos ou omissões negligentes, (Sousa, 2004).

- Síntese

Em suma, em Portugal a legislação vigente quanto a responsabilidades, garantias e seguros na construção civil é dispersa, suscita frequentemente dúvidas e é rica em matérias omissas.

A adesão a seguros pode ser obrigatória ou em alguns casos voluntária. Se a adesão a estes seguros fosse obrigatória para todos os intervenientes observar-se-á um maior controlo da qualidade feito pela segura e que posteriormente resultaria certamente na diminuição dos defeitos.

França e Espanha são dois países que já possuem sistemas de responsabilidade, garantias e seguros implementados.

4.2. FRANÇA

O sistema francês de responsabilidades, garantias e seguros é o sistema que demonstra maior evolução na Europa e está em vigor através da Lei 78-12 de 4 de Janeiro de 1978. Esta regulamentação é vulgarmente denominada "Lei Spinetta", (Sousa, 2004).

A lei Spinetta responsabiliza os intervenientes e especifica a indeminização imediata dos proprietários. São definidos como intervenientes no processo construtivo todos os projetistas, pessoas ligadas ao dono de obra por contrato a este relativo, toda a pessoa que vende (tendo sido essa entidade a construir ou não), assim como toda a pessoa que embora agindo na qualidade de mandatário do proprietário da obra cumpre uma missão semelhante à de adjudicatário de obra, (Sousa, 2004).

- Garantias

No sistema francês existem três tipos diferentes de garantias. As garantias válidas até um ano após a recepção provisória focam-se nos danos ou defeitos associados a elementos ou equipamentos não dissociáveis e incide ao nível dos acabamentos, sendo denominada por vezes de "Perfeito Acabamento". Esta garantia é subscrita pela empresa de construção.

A garantia de "Bom Funcionamento" é subscrita por todos os intervenientes incluindo fabricantes de materiais e fornecedores de equipamentos dissociáveis da obra e tem a duração de dois anos após a recepção provisória. Incide sobre defeitos ou danos ao nível de elementos ou equipamentos não dissociáveis do edifício que não são cobertos pela garantia decenal.

A garantia decenal tem a duração de dez anos e só entra em vigor após garantia de "Perfeito Acabamento" e após a recepção provisória. Esta garantia é subscrita por todos os intervenientes na obra, (Sousa, 2004).

- Responsabilidades

A garantia decenal abrange todos os defeitos que estejam relacionados com o comportamento do solo (fissuras graves que põem em causa a estanquidade, assentamentos, etc...), abrange também todos os danos que tornem impróprio ou inadequado ao uso ou fim a que se destina (fissuras na fachada por exemplo) e abrange todos os danos ou defeitos que afetam os elementos construtivos ou equipamentos indissociáveis do edifício (como por exemplo rotura de canalização encastrada numa laje). Não são cobertos por esta garantia danos induzidos por falta de manutenção ou deficiente utilização, (Sousa, 2004). Esta garantia tem a duração de dez anos.

Em todos os sistemas de garantias os beneficiários são o dono de obra e os sucessivos proprietários.

- Seguros

O sistema francês institui a existência de seguros obrigatórios não só para todos os intervenientes mas também para o dono de obra.

Esta normativa engloba qualquer tipo de obra embora só seja legalmente obrigatório em edifícios, (Sousa, 2004).

- Síntese

A legislação francesa relativa a este assunto é mais completa do que a que consta na legislação portuguesa.

4.3. ESPANHA

O sistema de responsabilidades, garantias e seguros espanhol foi implementado segundo a Lei de Ordenação da Edificação ("Ley 38/1999 de 5 de Noviembre") (L.O.E.) que entrou em vigor a 6 de Março de 2000, (Sousa, 2004).

Segundo (Sousa, 2004), os seus objectivos desta lei prendem-se com:

- Fixação de obrigações para estabelecer as responsabilidades e cobrir as garantias com o objectivo de regular o processo construtivo;
- Definir tecnicamente o conceito jurídico de construção e todos a ele inerentes;
- Definir quais as obrigações de cada interveniente no processo construtivo;
- Exigir de forma pessoal e formal a responsabilidade civil dos diferentes intervenientes pelos danos nas construções (atos próprios ou por eles legalmente responsabilizáveis)
- Estabelece prazos de um, três ou dez anos dependendo dos danos;
- Estabelecer garantias e seguros de subscrição obrigatória de um, três ou dez anos;
- Imposição da elaboração de uma Código Técnico da Construção para definir as exigências a que devem satisfazer os edifícios;

Este sistema é aplicável a todo o processo de construção.

A partir da subscrição da ata de recepção da obra tem inicio os prazos de responsabilidades e garantias.

- Responsabilidades e Garantias

As responsabilidades em Espanha subdividem-se em períodos de um, três ou dez anos.

No primeiro ano a responsabilidade é do construtor e abrange os danos derivados de deficiente concepção. A garantia associada é expressa sobre a forma de seguro caução tem incidência na reparação de danos associados aos acabamentos ou revestimentos finais da obra. Esta caução pode ser substituída pela retenção de 5% do custo final da obra por parte do dono de obra, (Sousa, 2004).

Ao fim de três anos respondem pelos danos todos os intervenientes pela construção e os danos caracterizam-se por afetar a habitabilidade. A garantia é associada a um seguro caução que cobre durante esse período defeitos em elementos construtivos ou instalações que condicionem a habitabilidade. O capital assegurado deve ser de 30% do valor da obra neste caso, (Sousa, 2004).

Até completar dez anos, todos os intervenientes são responsabilizados e são abrangidos os danos afetem a estabilidade do edifício. A garantia associada ao seguro caução decenal cobre danos estruturais o relacionados com a segurança e estabilidade do edifício. Neste caso o valor assegurado é 100% do valor final da obra, (Sousa, 2004).

Segundo a norma espanhola o construtor é responsável por danos causados por imperícia, falta de capacidade, negligência, falta de capacidade técnica, incumprimento das obrigações atribuídas às diversas entidades que dele dependem. O construtor é também responsável por danos materiais, vícios ou defeitos na execução da obra causados por entidades por ele contratadas ou deficiências dos materiais de construção por ele adquiridas, (Sousa, 2004).

- Seguros

Apenas se o edifício for de habitação, o dono de obra é obrigado a subscrever um seguro decenal, podendo em alternativa subscrever um seguro-caução de igual valor.

- Código Técnico de Construção

Existe a obrigatoriedade de existência de um Código Técnico de Construção, pelo qual se regulam as exigências de qualidade que os edifícios devem cumprir de forma a satisfazer os requisitos básicos de segurança e habitabilidade. Estas exigências devem ser cumpridas ao nível do projeto, da construção e da manutenção e conservação. O Código Técnico de Construção aplica-se a edifícios públicos e privados desde que os projetos necessitem de licença de autorização exigida pela lei espanhola, (Sousa, 2004).

Este código subdivide-se em duas partes, uma contém as disposições e condições gerais da aplicação deste código e as exigências básicas que devem ser exigidas aos edifícios enquanto que a outra parte contém documentos, denominados "documentos técnicos", baseados no conhecimento consolidado das diferentes técnicas construtivas facilitando assim o cumprimento de determinadas exigências, (Sousa, 2004).

- Síntese

O sistema em questão é bem organizado. Tem um sistema de garantias diversificado e a obrigatoriedade da existência de um código técnico de construção torna mais fácil a implementação de medidas que salvaguardem a qualidade do edificado.

4.4. SÍNTESE

O quadro 21 pretende fazer uma síntese do capítulo e também comparar a legislação dos países em análise em relação à responsabilização na indústria da construção civil.

Quadro 21 – Síntese de Responsabilidades, Garantias e Seguros

<table>
<tr><td></td><td colspan="6">COMPARAÇÃO ENTRE OS DIFERENTES SISTEMAS</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">PORTUGAL</td><td colspan="2">FRANÇA</td><td colspan="2">ESPANHA</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">As indeminizações de sinistros são apenas resolvidas em tribunal e após longo período de tempo;</td><td colspan="2">A indeminização dos proprietários ou reparação dos danos são imediatas após sinistro;</td><td colspan="2">Decorre um processo que tem como objectivo encontrar os responsáveis;
Esta tarefa é facilitada pois na legislação é enunciada quais as obrigações e responsabilidades de cada interveniente;</td></tr>
<tr><td rowspan="4">GARANTIAS</td><td>-Em obras particulares destinadas a longa duração: 5 anos</td><td>O vendedor e a empresa construtora são responsabilizados por esta garantia;</td><td>“Perfeito Acabamento”
(1ano)</td><td>Subscrita por empresa de construção;</td><td>Seguro de danos materiais ou de Caução (1 ano)</td><td>-Subscrito pela empresa construtora (em beneficio do dono de obra e seguintes proprietários)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">-Obras públicas: 2 anos, 5 anos, 10 anos</td><td rowspan="2"></td><td>“Bom Funcionamento” (2 anos)</td><td>Subscrita por todos intervenientes incluindo fabricantes e fornecedores de materiais e equipamentos;</td><td>Seguro de danos materiais ou de Caução (3 anos)</td><td>-Subscrito pelo dono de obra em seu beneficio e dos proprietários sucessivos;</td></tr>
<tr><td>Garantia Decenal (10 anos)</td><td>Subscrita por todos os intervenientes no processo construtivo;
Entra em vigor apenas após a garantia de “Perfeito Acabamento” e após a recepção provisória;</td><td>Seguro de danos materiais ou de Caução (10 anos)</td><td>-Subscrito pelo dono de obra em seu beneficio e dos proprietários sucessivos;</td></tr>
<tr><td colspan="2">Os beneficiados por estas garantias são o dono de obra e os proprietários sucessivos.</td><td colspan="2">Estas garantias beneficiam o dono de obra e sucessivos proprietários.</td><td colspan="2">-A subscrição destas garantias só é obrigatória no caso de edifícios para ocupação habitacional e apenas a responsabilidade decenal.
-Para além do dono de obra e empresa construtora os restantes intervenientes não são obrigados a subscrever estes seguros, sendo apenas acionada a responsabilidade civil ou contratual.</td></tr>
<tr><td>SEGUROS OBRIGATÓRIOS</td><td colspan="2">-Não existem seguros de responsabilidade obrigatórios;
-Excepto no caso de obras públicas e apenas se o dono de obra as contemplar no caderno de encargos.
É facultativa a subscrição de um seguro de responsabilidade civil por parte dos intervenientes.</td><td colspan="2">- Seguro de Responsabilidade Decenal
Protege durante 10 anos os intervenientes do processo construtivo;
- Seguro de Reparação de Danos
Protege o dono de obra e sucessivos adquirentes e entra em vigor após a garantia de “Perfeito Acabamento” e tem a duração de 10 anos.</td><td colspan="2">- Apenas se o edifício for de habitação, o dono de obra é obrigado a subscrever um seguro decenal, podendo em alternativa subscrever um seguro-caução de igual valor.</td></tr>
<tr><td>SISTEMAS IMPLEMENTADOS</td><td colspan="2">Nenhum</td><td colspan="2">-Sistema de recolha de dados de sinistros declarados às seguradoras;</td><td colspan="2">-Existência de um Código Técnico de Construção;</td></tr>
</table>

5

PROPRIEDADES MECÂNICAS E HÍGRICAS DAS ARGAMASSAS

5.1. INTRODUÇÃO

Ao longo do capítulo 3 descreve-se quais as principais patologias associadas às argamassas. Nesse capítulo pretendeu-se também compilar as propriedades das argamassas mais relevantes para as patologias descritas, nomeadamente as propriedades mecânicas e hídricas das argamassas de base cimenticía, de cal aérea ou de cal hidráulica, tendo por base dados bibliográficos recolhidos. As propriedades em causa foram selecionadas por serem aquelas que teriam maior influência no aparecimento de patologias.

As propriedades analisadas são as que se apresentam no quadro 22.

Quadro 22 – Propriedades das argamassas

Popriedade	Descrição
Módulo de Elasticidade Dinâmico (MPa)	O módulo de Elasticidade ou módulo de Young dinâmico é uma propriedade mecânica que nos dá informação sobre a rigidez de um material sólido. Quanto maior for o módulo de elasticidade menos elástico é o material. Esta propriedade pode ser obtida pela fórmula abaixo. $\sigma = E \times \varepsilon$ (1) (sendo σ - tensão aplicada e ε - deformação observada)
Resistência à Tração (MPa)	A resistência à tração é a tensão de tração máxima a que um material sólido pode ser submetido sem que ocorra a rotura.
Resistência à Compressão (MPa)	A resistência à compressão é a tensão de compressão máxima a que um material sólido pode ser submetido sem que ocorra a rotura.
Aderência a Seco (MPa)	Caracteriza-se por ser a tensão que é necessário aplicar numa superfície para que ocorra rotura e/ou destacamento da camada em análise. Existem diferentes tipos de rotura, a rotura pode dar-se na interface entre a camada de revestimento e o suporte (rotura adesiva), ao nível da camada de revestimento (rotura coesiva) ou ao nível do suporte.
Porosidade Aberta (%)	Exprime a proporção entre o volume de vazios dos poros e o volume total do corpo.
Coeficiente de Absorção de Água ($kg/m^2.min^{0,5}$)	Este coeficiente tem por objectivo quantificar a absorção de um líquido por capilaridade por unidade de área em contacto com um líquido em função do tempo
Fator de Resistência à Difusão do Vapor de Água (μ)	O fator de resistência ao vapor de água (μ) obtem-se através da divisão da permeabilidade do vapor de água do ar pela permeabilidade ao vapor do material poroso em análise. Logo quanto maior for este coeficiente menos permeável ao vapor é o material em análise. A espessura da camada de ar equivalente (Sd) é a espessura que uma camada de ar teria de ter para que tivesse a mesma permeância ao vapor de àgua da do material em análise. Esta propriedade fornece informação sobre a permeabilidade ao vapor de água do material. Quanto maior for a espessura da camada de difusão equivalente menor será a permeabilidade do material ao vapor de água. $\mathrm{Sd} = \mu \times \mathrm{e}$ (2) Sendo “e” a espessura da camada.
Variação Dimensional (mm/m)	Consiste na variação de dimensão de determinado material ao longo do tempo e tendo em conta a sua dimensão inicial.

Para cada uma das diferentes propriedades acima referidas serão listados os valores recolhidos e alguns dados estatísticos como a média, a mediana, o desvio padrão, o quartil dos 25% e dos 75%.

Apresenta-se um gráfico vulgarmente denominado "gráfico de bigodes" que serviu para eliminar valores da amostra que se encontravam fora do intervalo aceitável tendo em conta a distribuição da amostra (também designados por "*outliers*"). Ou seja todos os valores que estivessem fora do intervalo formado pelos valores mais extremos do gráfico (representados por umas linhas vulgarmente designados "whiskers"), foram rejeitados e não foram considerados para o cálculo da média e desvio padrão apresentados.

Estes limites superiores e inferiores foram calculados segundo as formulas seguintes:

$$Limite_{sup} = \min(Q75 + 1{,}5 * (Q75 - Q25), Max(amostra)) \quad (3)$$

$$Limite_{inf} = \max(Q75 - 1{,}5 * (Q75 - Q25), \mathrm{Min}(amostra)) \quad (4)$$

Em que:

Min– valor mínimo da amostra de valores em análise

Max– valor máximo da amostra de valores em análise

Q75 – Valor correspondente ao quartil dos 75%

Q25 – Valor correspondente ao quartil dos 25%

Estes gráficos permite-nos ter uma visão mais clara sobre a dispersão dos valores e quais as zonas mais prováveis para encontrar valores para a propriedade em causa.

Os dois rectângulos dos "gráficos de bigodes" juntos representam 50% dos valores e por isso definem a zona mais provável para se encontrarem os valores para cada uma das propriedades em causa.

Os valores recolhidos da bibliografia são apresentados por propriedade. Estes valores foram retirados de bibliografias diversas e é importante explicítar que argamassas com o mesmo ligante mas com quantidades deste diferentes, com agregados de diferentes granulometrias e origens ou com diferentes quantidades de água de amassadura terão comportamentos diferentes. Esta análise pretende caraterizar, comparativamente, o comportamento das argamassas em estudo.

5.2. MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (MPA)

No quadro 23 encontram-se os dados recolhidos para esta propriedade.

Quadro 23 – Valores recolhidos de módulo de elasticidade dinâmico (MPa)

	Módulo de Elasticidade Dinâmico (MPa)		
	Argamassa de cimento	Argamassa de cal aérea	Argamassa de cal hidráulica
	9805	2567	2191
	5532	4098	3025
	7035	4770	3027
	9805	1906	1134
	6600	2332	2332
	6165	2837	3025
	6410	3507	7510
	6570	3272	7399
	9665	3836	4256
	7070	2300	2143
	7041	1490	1415
	10089	1555	3327
	9770	1793	697
	11642	3041	1519
	9710	3748	1530
	7511	2998	5437
	11578	3925	5104
			3784
			2723
			5076
			7206
Média	8352,82	2939,71	3517,14
Desvio Padrão	1978,09	964,87	2077,33
Intervalo de valores	5532 - 14641	729 - 6326	697 - 7510
Quartil dos 25%	6818	2103	2143
Quartil dos 75%	9947	3792	5076
Mediana	9665	2103	2143

*Os valores foram retirados de (Rato, 2006),(Rodrigues, 2004),(Veiga, 2003), (Veiga, 1998), (Neno, 2010), (Rato e Henriques, 2007), (Faria *et al.*, 2012), (Mergulhão, 2014) e (Penas, 2008).

As argamassas que apresentam maior módulo de elasticidade dinâmico são as argamassas de cimento, as que apresentam menor módulo de elasticidade são as argamassas de cal aérea. O valores das de cal hidráulica é um pouco mais elevado do que os encontrados para a cal aérea. As argamassas de cal têm módulos de elasticidade muito menores que os das argamassas cimentícias.

As argamassas que apresentam maior desvio padrão são as argamassas de cal hidráulica que, como podemos observar, foram obtidos valores bastante dispersos para a caracterização destas argamassas.

Na figura 5 tem-se uma representação que permite visualizar mais facilmente qual a dispersão dos valores recolhidos para esta propriedade.

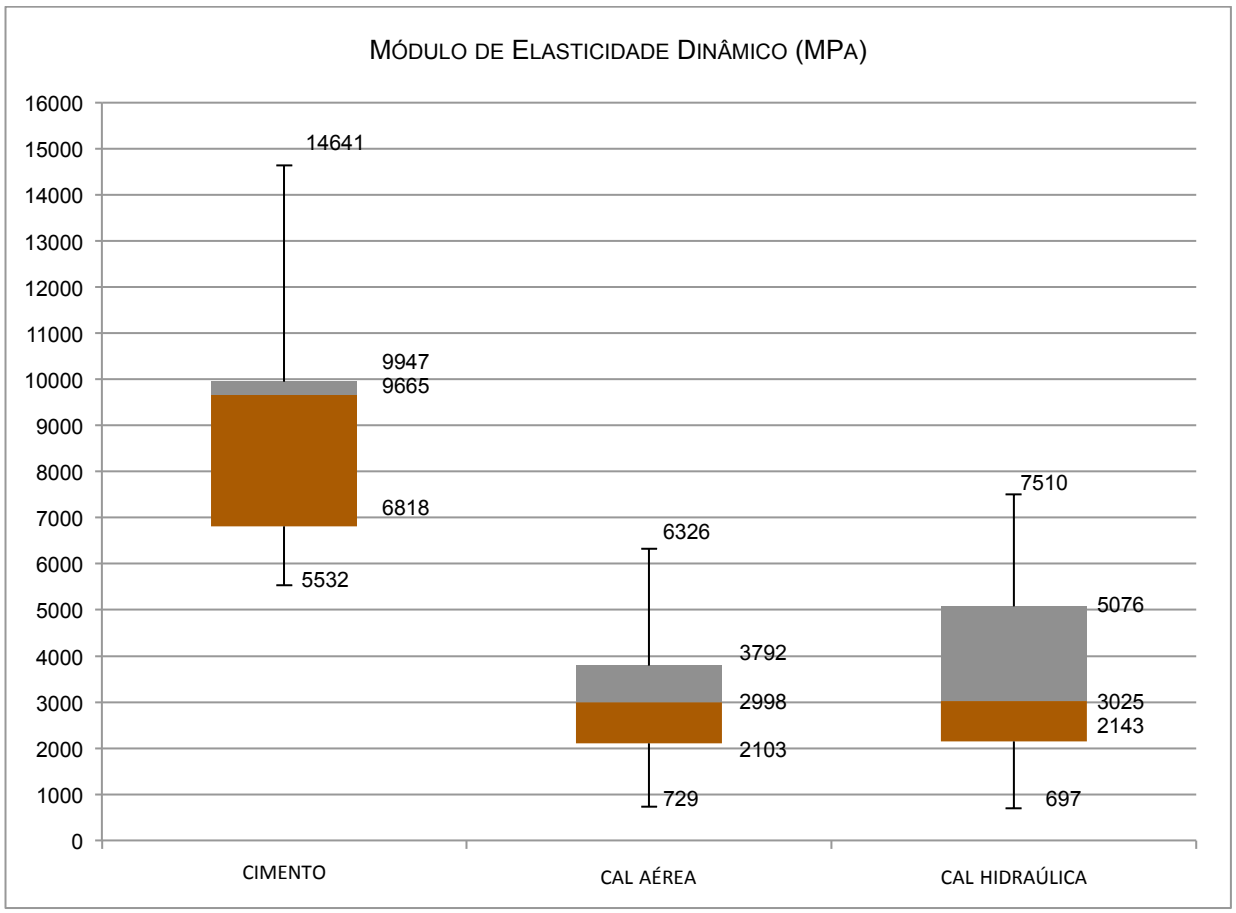


FIg. 5 –Valores de Módulo de Elasticidade (MPa) recolhidos da bibliografia

Os valores utilizados para fazer o gráfico apresentado na Fig. 5 foram os apresentados no quadro 24.

Pode-se perceber que a dispersão dos resultados é considerável em todas as argamassas, sendo no entanto maior na argamassa cujo ligante é o cimento.

5.3. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPA)

No quadro 24 constam os valores recolhidos para a resistência à tração.

Quadro 24 – Valores de resistência à tração

	Resistência à Tração (MPa)		
	Argamassa de cimento	Argamassa de cal aérea	Argamassa de cal hidráulica
	1,10	0,20	0,27
	1,70	0,34	0,20
	0,90	0,08	0,20
	1,20	0,10	0,30
	1,70	0,20	0,50
	1,10	0,20	0,52
	1,70	0,30	0,40
	1,71	0,40	0,20
	2,48	0,20	0,40
	1,67	0,20	0,28
	2,36	0,30	0,51
	2,35	0,40	0,14
	1,90	0,40	0,52
	2,86	0,21	0,58
	2,33	0,32	
	3,02	0,33	
		0,36	
		0,32	
		0,28	
		0,33	
		0,12	
		0,12	
		0,23	
		0,39	
		0,60	
		0,30	
		0,55	
Média	1,880	0,288	0,359
Desvio Padrão	0,637	0,126	0,149
Intervalo de valores	0,90 - 3,02	0,08 – 0,68	0,10 – 0,63
Quartil dos 25%	1,44	0,20	0,25
Quartil dos 75%	2,34	0,39	0,61
Mediana	1,70	0,30	0,45

*Os valores da tabela anterior foram retirados de (Rato, 2006), (Rodrigues, 2004), (Rato e Henriques, 2007), (Veiga, 1998), (Veiga, 2003), (Faria *et al.*, 2012), (Mergulhão, 2014), (Agostinho, 2008) e (Penas, 2008).

As argamassas que apresentam melhor resistência à tração, como podemos ver pelo quadro 24, são as argamassas cimentícias. Estas apresentam uma resistência à tração muito mais elevada do que as argamassas que têm como ligante a cal, sendo esta aérea ou hidráulica.

Na figurra 6 apresenta-se uma representação que permite ter uma melhor perceção da dispersão dos valores desta propriedade.

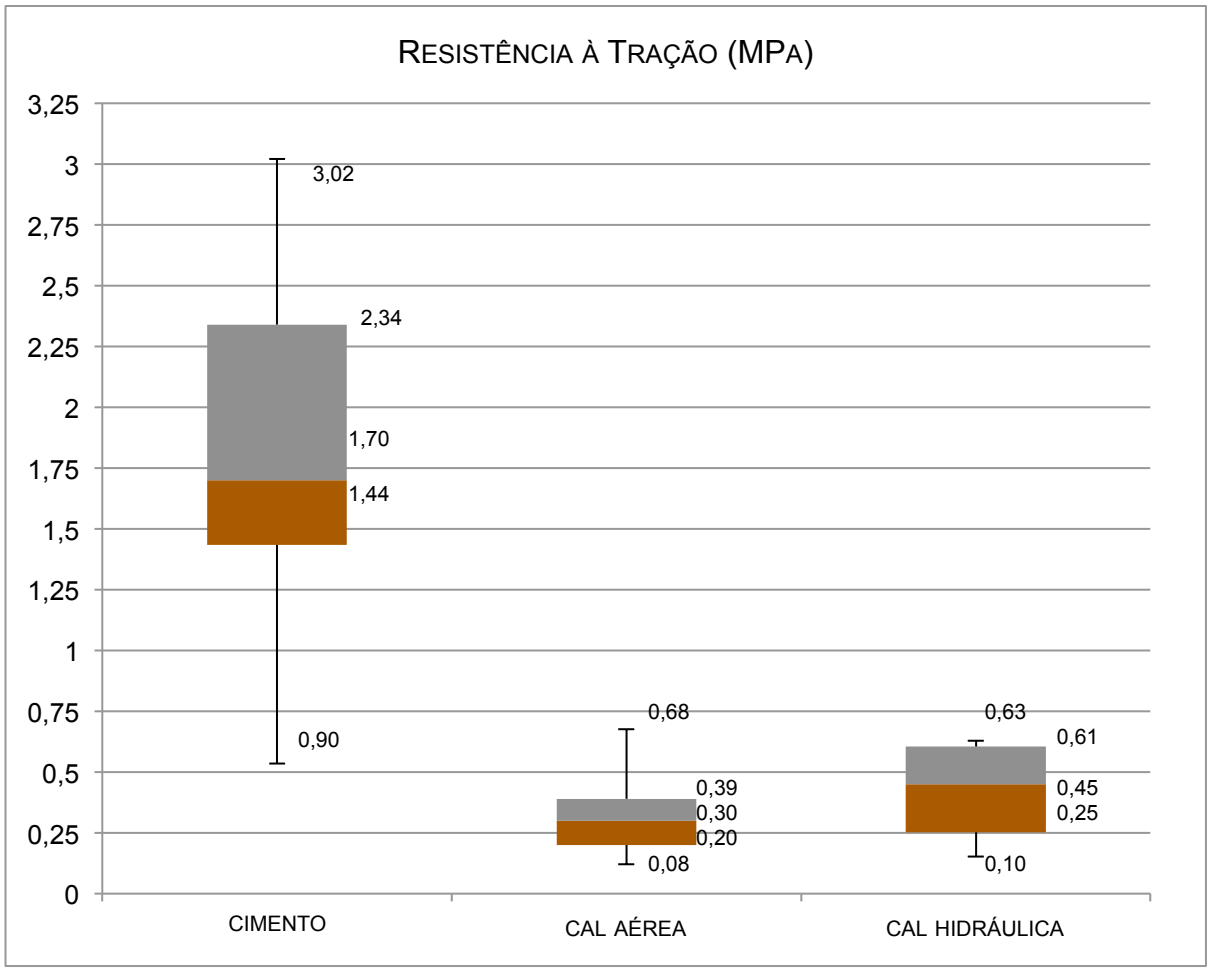


Fig. 6 – Valores de Resistência à Tração recolhidos da bibliografia

Os valores utilizados para elaborar este gráfico são os que se apresentam no quadro 24.

Nas argamassas de cimento há uma maior dispersão dos valores sendo que a amostra encontra-se mais compacta entre os 1,44 MPa e os 1,7 MPa.

Existe uma maior dispersão dos valores das argamassas de cimento em comparação com a dispersão dos valores encontrados para as argamassas de cal.

5.4. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPA)

No quadro 25 pode observar-se os valores recolhidos para a resistência à compressão.

Quadro 25 – Valores de resistência à compressão

	Resistência à Compressão (MPa)		
	Argamassa de	Argamassa de cal	Argamassa de cal
	3,20	1,28	0,27
	6,90	0,49	0,20
	4,50	0,50	0,20
	6,90	0,60	0,30
	3,20	0,60	0,50
	5,20	0,80	0,95
	3,91	0,90	1,15
	6,17	0,40	0,52
	6,49	0,50	0,40
	7,72	0,60	0,20
	7,11	1,00	0,40
	7,03	1,10	0,10
	10,32	0,56	0,28
	13,07	0,95	0,44
	6,49	0,45	1,84
	7,72	0,59	1,8
	7,11	0,53	2,01
	7,03	0,41	1,38
	10,32	0,65	2,12
		0,5	
		0,32	
		0,48	
		1,23	
		1,47	
		0,72	
Média	6,050	0,705	0,792
Desvio Padrão	2,015	0,307	0,698
Intervalo de valores	3,1 - 12,6	0,13 – 1,75	0,10 – 2,61
Quartil dos 25%	4,50	0,50	0,28
Quartil dos 75%	7,72	1,00	1,49
Mediana	6,90	0,60	0,47

* Os valores considerados na tabela acima foram recolhidos de (Rato, 2006), (Rodrigues, 2004), (Veiga, 2003), (Veiga, 1998), (Rato e Henriques, 2007), (Neno, 2010), (Faria *et al.*, 2012), (Agostinho, 2008), (Mergulhão, 2014) e (Penas, 2008).

A resistência à compressão das argamassas de cimento em relação às das outras argamassas é bastante elevada.

As argamassas de cal aérea, em média, diferem pouco das argamassas de cal hidráulica.

Na figura 7 pode ter-se uma visão mais clara da dispersão dos resultados. Para a construção do gráfico em questão utilizaram-se os valores apresentados no quadro 25.

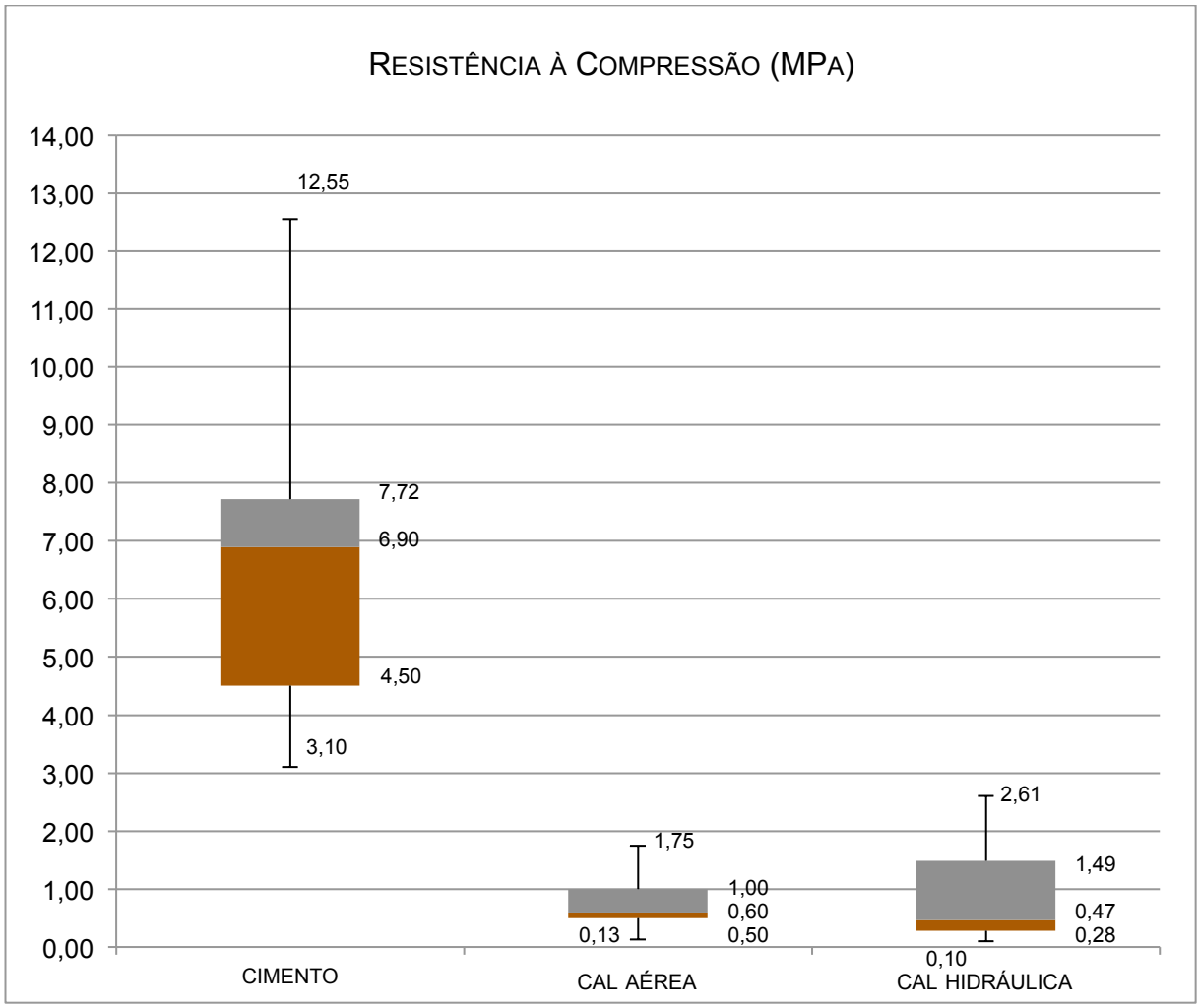


Fig. 7 – Valores de resistência à compressão (MPa) recolhidos da bibliografia

Através deste gráfico dá para ver claramente que existe uma maior dispersão dos valores no caso das argamassas à base de cimento do que os valores obtidos para as argamassas à base de cal. Sendo que em ambas as argamassas de cal os quartis inferiores (dos 25%) correspondem a um intervalo reduzido daí que possa afirmar que esse intervalo contem valores pouco dispersos e que é uma zona provável de encontrar para a resistência à compressão.

5.5. POROSIDADE ABERTA (%)

No quadro 26 encontram-se os valores obtidos para a porosidade das argamassas, apresentados em % de volume.

Quadro 26 – Valores de Porosidade Aberta (%)

	Porosidade Aberta (%)		
	Argamassa de	Argamassa de cal	Argamassa de cal
	31,18	29,00	27,00
	28,30	31,00	28,00
	29,08	38,11	32,00
	27,00	40,68	32,00
	25,00	36,00	31,00
	29,00	29,00	25,00
	28,00	26,50	27,00
	27,00	34,00	31,00
	31,00	32,00	34,00
	34,00	30,00	28,00
	24,00	34,00	
		37,00	
		38,00	
		31,00	
		35,00	
Média	28,51	33,42	29,50
Desvio Padrão	2,86	4,06	2,88
Intervalo de valores	22,96 – 34,00	25,25 – 45,27	24,75 – 34,00
Quartil dos 25%	25	29	27
Quartil dos 75%	29	36,5	31,5
Mediana	28	32	28

* Os valores acima apresentados foram retirados de (Rato, 2006), (Rodrigues, 2004), (Rato e Henriques, 2007), (Páscoa, 2012), (Faria *et al.*, 2012) e (Mergulhão, 2014).

A porosidade é maior nas argamassas de cal aérea, no entanto este valor é bastante próximo do obtido para a porosidade da cal hidráulica.

A porosidade das argamassas de cal hidráulica e das de cimento são próximas embora os valores das de cal hidráulica sejam um pouco mais elevados que os das de cimento.

Na figura 8 representa-se a dispersão dos resultados.

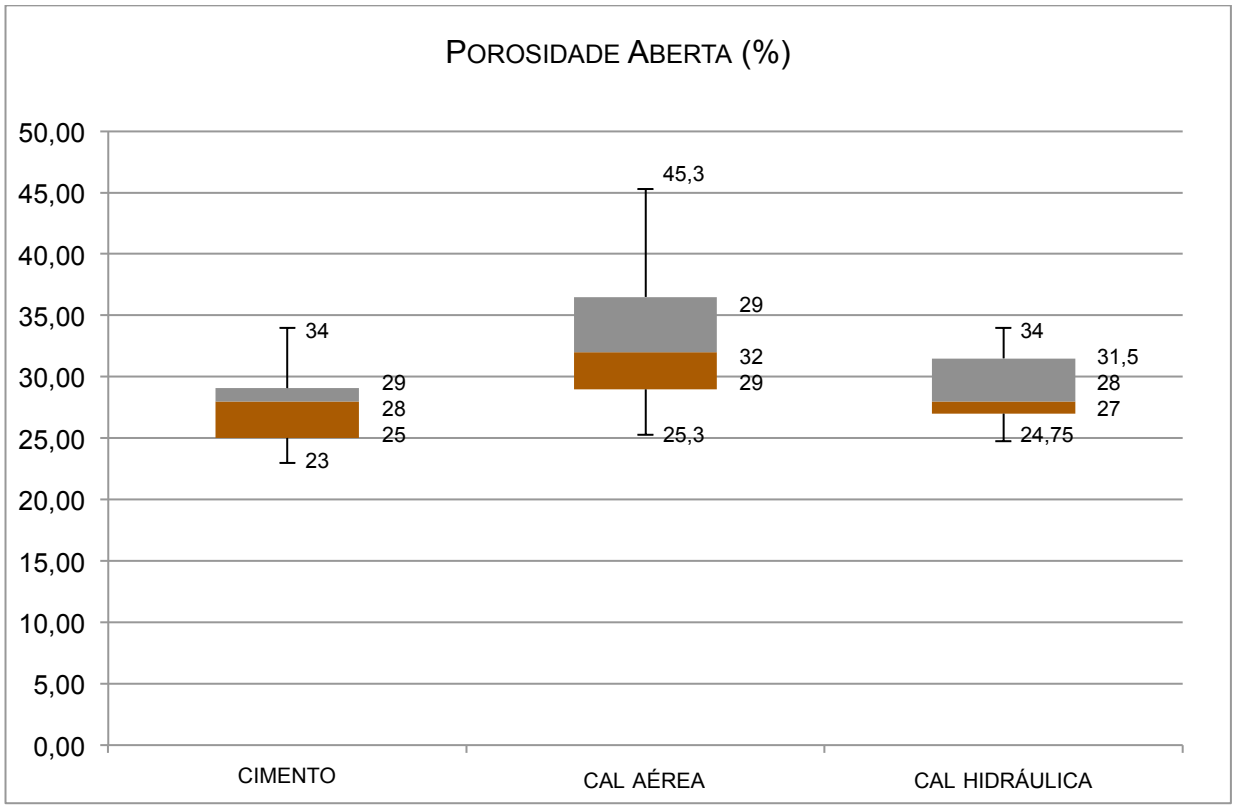


Fig. 8 – Valores de porosidade aberta (%) recolhidos da bibliografia

Ao contrário do que se tem observado relativamente às características mecânicas as argamassas de cal aérea são as argamassas com maior dispersão de resultados, obtendo-se assim um intervalo de valores aceitáveis mais alargado.

Podemos concluir também que as argamassas de cal aérea podem tomar valores consideravelmente maiores do que as restantes argamassas embora a sua média aritmética se situe próxima da das restantes argamassas.

5.6. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE (kg/(m^2.min^{0,5}))

No quadro 27 encontram-se os valores obtidos para o coeficiente de absorção de água por capilaridade.

Quadro 27 – Valores de coeficiente de absorção de água por capilaridade

Coeficiente de Absorção de Água por Capilaridade (kg/(m^2.min^{0,5}))		
Argamassa de cimento	Argamassa de cal aérea	Argamassa de cal hidráulica
1,625	1,430	1,980
1,940	1,830	2,300
1,250	1.960	1,870
1,620	0,840	1,330
1,400	2,800	0,940
0,580	2,950	1,870
1,270	2,250	1,800
1,240	2,250	2,100
1,250	3,000	1,600
0,960	3,250	2,190
1,410	2,480	1,132
0,853	2,480	2,640
1,473	1,950	
	1,750	
	1,423	
	1,096	
	1,179	
	1,021	
	2,710	
	2,870	
Média	1,300	2,082	1,813
Desvio Padrão	0,355	0,759	0,494
Intervalo de valores	0,58 – 1,94	0,84 - 3,25	0,94 – 2,64
Quartil dos 25%	1,03	1,43	1,53
Quartil dos 75%	1,46	2,76	2,12
Mediana	1,26	2,25	1,87

*Os valores apresentados foram retirados de (Rodrigues, 2004), (Veiga, 2003), (Veiga, 1998), (Almeida, 2010), (Neno, 2010), (Rato e Henriques, 2007), (Faria *et al.*, 2012), (Agostinho, 2008), (Mergulhão, 2014) e (Penas, 2008).

Neste caso as argamassas que apresentam maior coeficiente de absorção de água por capilaridade são as argamassas de cal aérea e as que apresentam valores mais baixos são as argamassas de base cimentícia.

As argamassas de cal hidráulica atingem valores próximos dos alcançados pelas de cal aérea embora o desvio padrão das argamassas de cal aérea seja maior.

Na figura 9 representam-se os valores mencionados no quadro 27 de forma a ter uma visão mais clara da dispersão destes valores.

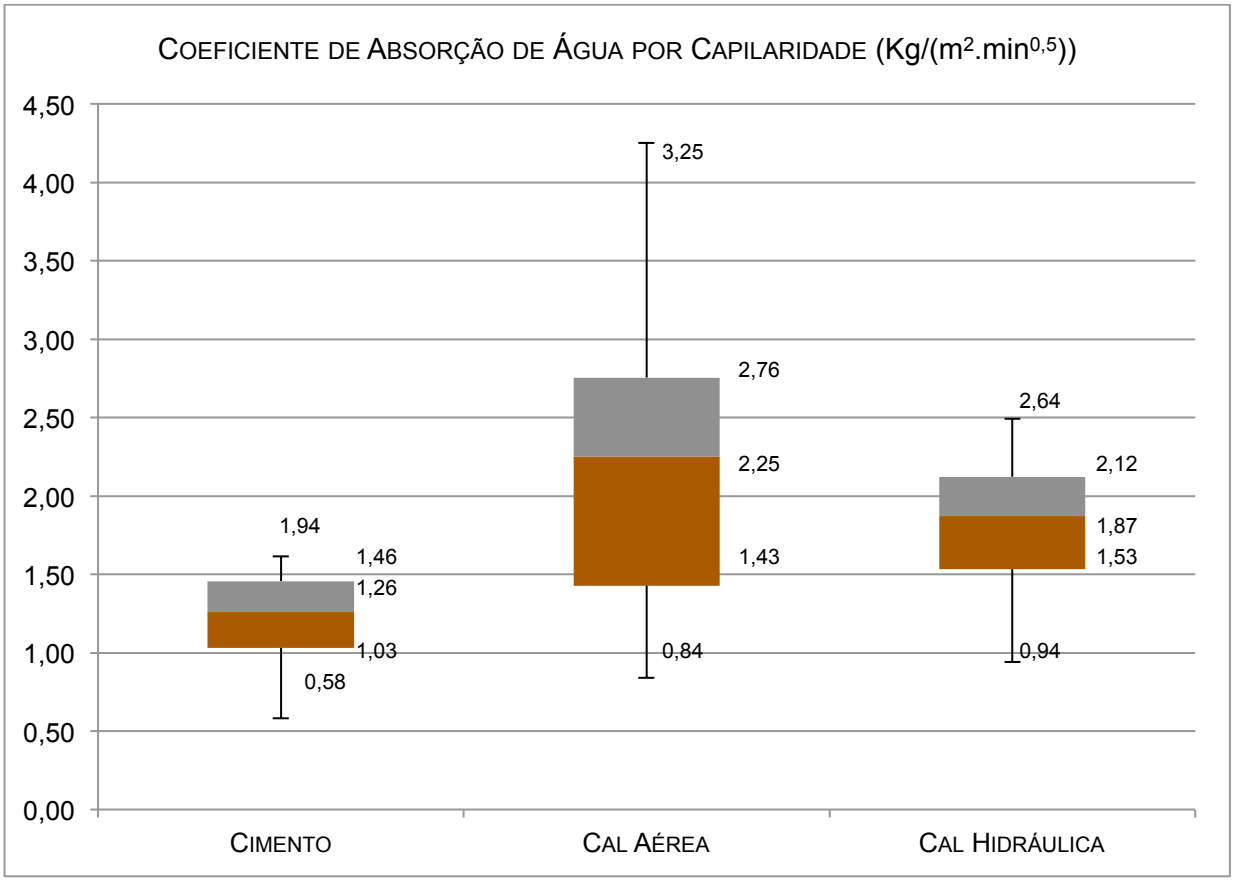


Fig. 9 – Valores de coeficiente de absorção de água por capilaridade (kg/(m^2.min^{0,5})) recolhidos da bibliografia

A dispersão dos valores é maior no caso da cal aérea do que nas restantes argamassas.

Quanto maior o for coeficiente de absorção de água por capilaridade maior será a absorção de líquido por parte do material.

5.7. ADERÊNCIA POR TRAÇÃO (MPA)

Os valores recolhidos para a aderência por tração são os que de seguida se apresentam.

Quadro 28 – Valores de aderência por tração (MPa)

	Aderência por Tração (MPa)		
	Argamassa de cimento	Argamassa de cal aérea	Argamassa de cal hidráulica
	0,07	0,100	0,12
	0,33	0,016	0,10
	0,34	0,020	0,15
	0,57	0,080	0,10
	0,59	0,028	0,12
	0,50	0,016	
	0,48	0,016	
		0,080	
		0,016	
Média	0,410	0,0413	0,118
Desvio Padrão	0,182	0,0347	0,021
Intervalo de valores	0,07 – 0,59	0,02 - 0,10	0,07 – 0,15
Quartil dos 25%	0,335	0,016	0,050
Quartil dos 75%	0,535	0,080	0,120
Mediana	0,48	0,02	0,11

*Os valores acima mencionados foram recolhidos de (Veiga, 1998), (Penas, 2008), (Neno, 2010), (Ferreira, 2012) e (Martins, 2010).

As argamassas com maior aderência são as cujo ligante é o cimento. A aderência das argamassas de cal hidráulica não é desprezável, sendo o valor da aderência das argamassas de cal aérea o mais baixo.

A aderência das argamassas de cal aérea ser tão reduzida pode ser devido ao tempo de cura antes da realização do ensaio ter sido apenas 28 dias. Isto porque as argamassas de cal aérea endurecem ao longo do tempo por exposição ao dióxido de carbono, sendo o seu processo de endurecimento mais lento que os das outras argamassas.

A figura 10 tem como objetivo ilustrar melhor a dispersão dos valores da amostra.

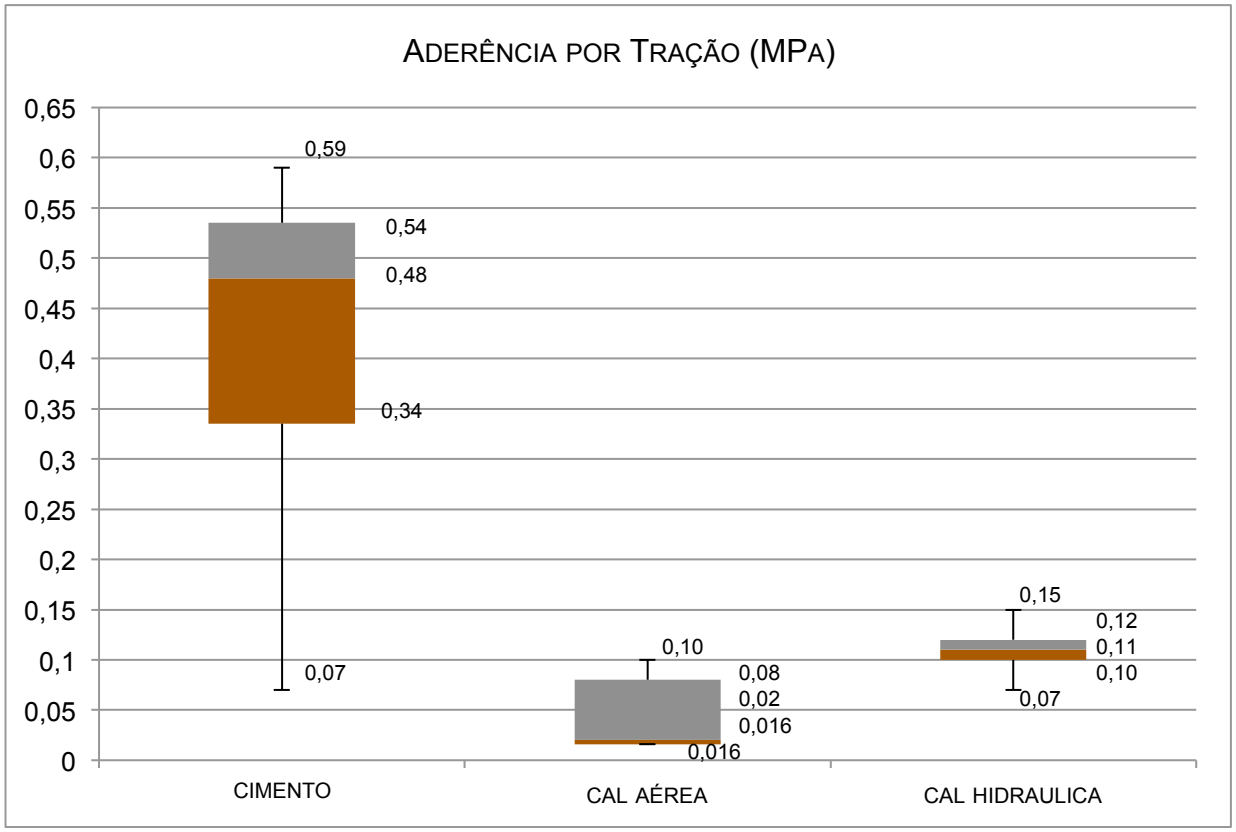


Fig. 10 – Valores de Aderência por tração (MPa) recolhidos da bibliografia

As argamassas de base cimentícia são as argamassas que têm maior aderência e as que têm maior dispersão de resultados, ou seja, estas argamassas podem atingir valores bastante diferentes.

As argamassas cujo ligante é a cal hidráulica são as que têm menor dispersão dos resultados.

5.8. PERMEABILIDADE AO VAPOR

5.8.1. FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR (μ)

No quadro 29 apresentam-se os valores recolhidos para este fator.

Quadro 29 – Valores de coeficiente de permeabilidade ao vapor de água ou fator de resistência à difusão do vapor (μ)

	Coeficiente de Permeabilidade ao Vapor de Água (μ)		
	Argamassa de cimento	Argamassa de cal aérea	Argamassa de cal hidráulica
	8,580	7,270	9,320
	8,490	5,780	12,060
	9,670	6,530	10
	11,330	5,670	15
	10,450	6,310	4,53
	10,070	6,090	9
	11,170	9,060	10
	12,450	11,985	15
	12,950		
Média	10,570	8,156	10,61
Desvio Padrão	1,561	2,220	3.43
Intervalo de valores	8,49 – 16,95	5,67 – 11,99	4,53 – 15,00
Quartil dos 25%	9,87	6,09	9.24
Quartil dos 75%	12,70	8,81	12,80
Mediana	11,17	8,04	10,00

*Os valores apresentados acima foram retirados de (Rodrigues, 2004), (Rato e Henriques, 2007) (Páscoa, 2012) e (Veiga, 1998).

Quanto maior for o fator de resistência à difusão menor será a permeabilidade da argamassa em questão.

As argamassas com base de cimento são as que têm um factor de resistência à difusão maior logo menor permeabilidade ao vapor enquanto que as argamassas de cal aérea são as que têm o factor de resistência à difusão menor logo são as que têm melhor permeabilidade ao vapor.

A figura 11 pretende representar a dispersão dos valores desta propriedade para cada tipo de argamassa.

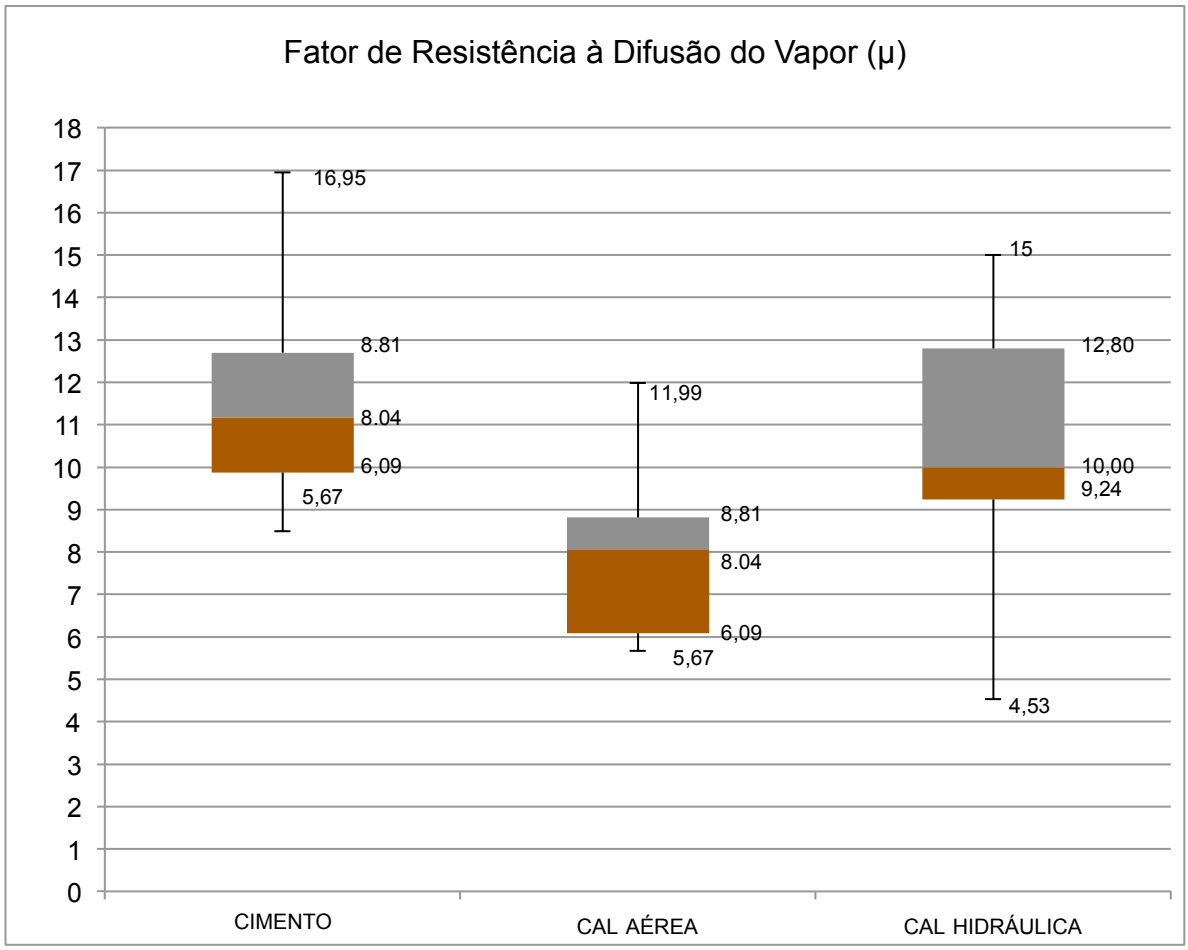


Fig. 11 – Valores de fator de resistência ao vapor de água (μ) recolhidos da bibliografia

Da figura 11 sabemos que tanto as argamassas de cimento como as de cal aérea apresentam valores dispersos. Como podemos ver pela expressão:

$$\mu = \frac{\text{permeabilidade do ar}}{\text{permeabilidade do material}} \qquad (6)$$

Quanto maior o μ, menor a permeabilidade do material visto que a permeabilidade do ar é constante para determinada temperatura.

Logo neste caso as argamassas à base de cimento são menos permeáveis ao vapor que as argamassa de cal. As argamassas mais permeáveis ao vapor de água são as argamassas de cal aérea.

5.8.2. ESPESSURA DE CAMADA DE AR DE DIFUSÃO EQUIVALENTE (S_D)

Alguns autores apresentam o valor da espessura de camada de ar de difusão equivalente em vez do valor da resistência à difusão do vapor.

Sabendo que: $Sd = \mu \times e$

Sendo "e" a espessura da camada estas duas propriedades são facilmente relacionáveis.

No quadro 30 apresentam-se os valores recolhidos para esta propriedade.

Quadro 30 – Valores de espessura de camada de ar equivalente (S_d)

	Espessura de Camada de Ar de Difusão Equivalente S_d (m)		
	Argamassa de cimento	Argamassa de cal aérea	Argamassa de cal hidráulica
	0,090	0,05	0,075
	0,070	0,10	0,070
	0,085	0,09	0,070
	0,100	0,07	0,070
	0,110	0,15	0,075
	0,120	0,13	
	0,140	0,15	
	0,250	0,15	
	0,240	0,089	
	0,270	0,101	
	0,300		
	0,150		
	0,196		
Média	0,1600	0,108	0,072
Desvio Padrão	0,0786	0,036	0,00274
Intervalo de valores	0,07 – 0,30	0,05 – 0,15	0,07 – 0,08
Quartil dos 25%	0,10	0,09	0,07
Quartil dos 75%	0,24	0,145	0,08
Mediana	0,14	0,10	0,07

*Os valores na tabela acima foram recolhidos de (Rodrigues, 2004), (Veiga, 2003), (Veiga, 1998), (Penas, 2008), (Páscoa, 2012) e (Wilinzig e Posser, 2005).

As argamassas que têm, em média, maior espessura de camada de ar equivalente são as cimentícias e as que têm menor são as argamassas de cal hidráulica.

Ou seja, as argamassas de cal hidráulica são as mais permeáveis ao vapor de água e as cimentícias são as menos permeáveis ao vapor de água.

Na figura 12 apresenta-se a dispersão dos valores recolhidos.

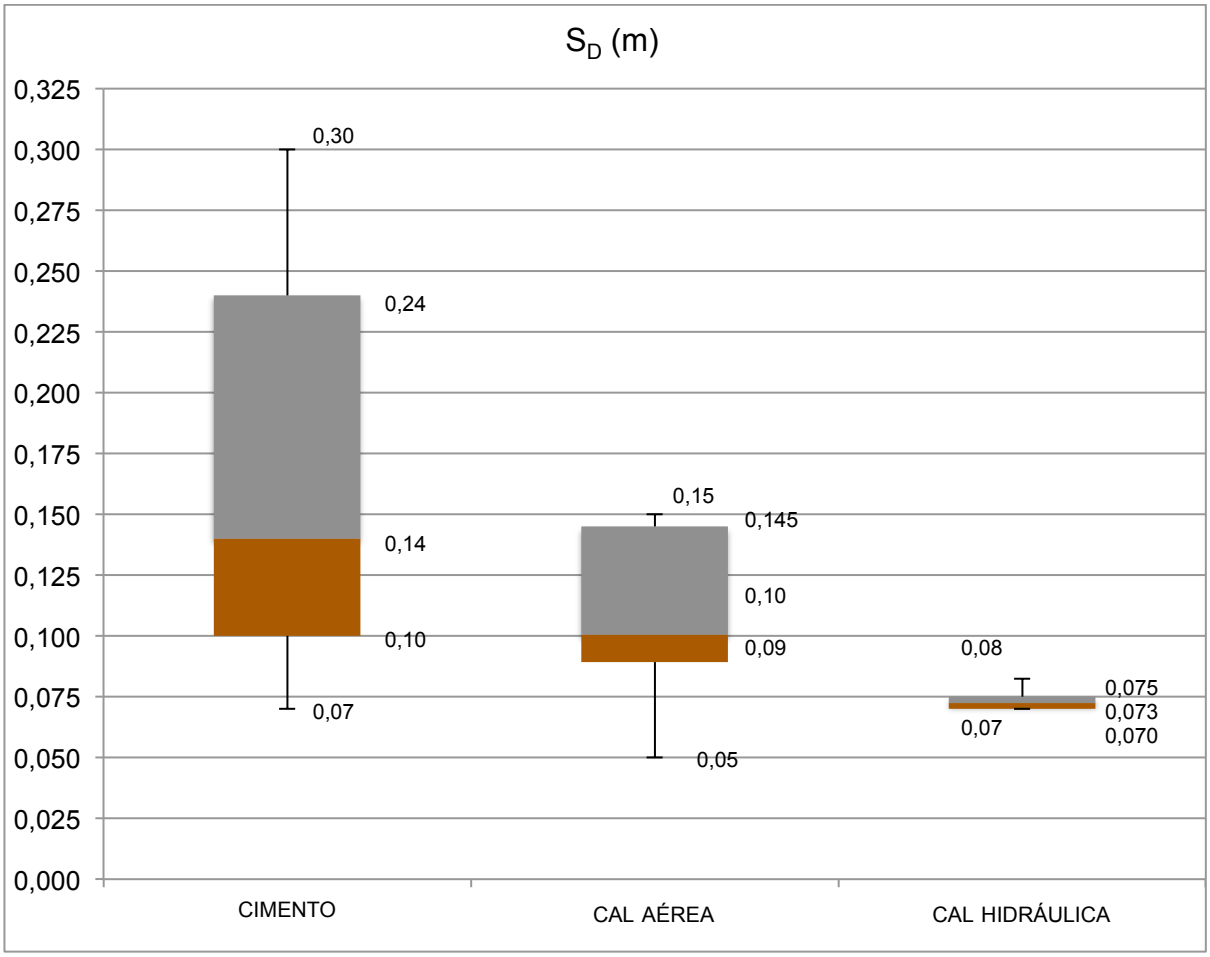


Fig. 12 – Valores de espessura de camada de ar de difusão equivalente Sd (m)

As argamassas de cimento têm uma dispersão de valores para o S_d muito mais acentuada que as outras argamassas.

As argamassas de cal hidráulica tem uma dispersão de valores muito reduzida.

5.9. VARIAÇÃO DIMENSIONAL (mm/m)

A bibliografia nesta área é parca, talvez por este ser um ensaio experimental e ainda não ter norma aplicável. Os resultados encontrados são os que se encontram no quadro 31. Estes valores foram retirados de (Veiga, 1998).

Quadro 31 – Valores de variação dimensional (mm/m)

Tempo de Cura (dias)		2	7	14	28	90
Variação Dimensional (mm/m)	Argamassa Cimenticia	0,03	0,2	0,22	0,23	0,25
	Cal aérea	0,07	0,25	0,28	0,3	0,49
	Cal Hidráulica	0,11	0,21	0,22	0,23	0,26

Aos 28 dias a argamassa que apresenta maiores variações dimensionais é a de cal aérea embora inicialmente a argamassa de cal hidráulica tenha uma variação de volume este estabiliza mais rapidamente. Quanto à argamassa à base de cimento inicialmente observam-se deslocamentos muito pequenos, havendo no entanto uma clara evolução entre os 2 e os 7 dias de cura.

5.10. SÍNTESE

Como se pode ver neste capítulo as argamassas têm características muito diferentes mesmo se se alterar apenas o ligante.

O quadro 32 serve como síntese deste capítulo e ilustra de modo simples as diferenças entre as três tipologias de argamassa em análise.

Quadro 32 – Síntese dos valores encontrados na bibliografia das propriedades das argamassas

		Argamassa de Cimento	Argamassa de Cal Aérea	Argamassa de Cal Hidráulica
Módulo de Elasticidade (E)	Média	8353	2940	3517
	Intervalo de Valores	5532 - 14641	729 - 6326	697 - 7510
Resistência à Tração por flexão (R_t) (MPa)	Média	1,88	0,29	0,36
	Intervalo de Valores	0,90 - 3,20	0,08 – 0,68	0,10 – 0,63
Resistência à Compressão (R_c) (MPa)	Média	6,1	0,7	0,8
	Intervalo de Valores	3 – 12,6	0,13 – 1,75	0,1 – 2,61
Porosidade Aberta (P_{ab}) (%)	Média	28,5	33,4	29,5
	Intervalo de Valores	23 - 34	25 – 45	25 - 34
Coeficiente de Absorção de Água por Capilaridade (A_w) ($kg/m^2.min^{0,5}$)	Média	1,3	2,1	1,8
	Intervalo de Valores	0,58 – 1,94	0,84 – 3,25	0,94 - 2,64
Espessura de Camada de Ar de Espessura Equivalente (S_d) (m)	Média	0,160	0,108	0,072
	Intervalo de Valores	0,07 – 0,030	0,05 – 0,15	0,07 - 0,08
Aderência por Tração (MPa)	Média	0,41	0,04	0,12
	Intervalo de Valores	0,07 – 0,59	0,02 – 0,10	0,07 – 0,15
Fator de Resistência à Difusão do Vapor (μ)	Média	10,57	8,16	10,61
	Intervalo de Valores	8,49 – 16,95	5,67 – 11,99	4.53 –15,00
Variação Dimensional (mm/m) (28 dia)	Média	0,23	0,30	0,23
	Intervalo de Valores	-	-	-

Em suma, a argamassa cujo ligante é o cimento tem o módulo de elasticidade e as resistências mecânicas mais elevadas em relação às argamassas com base de cal.

No entanto as argamassas de cal têm melhor comportamento ao vapor de água pois têm menor fator de resistência à difusão do vapor sendo no entanto mais permeáveis à água líquida do que as argamassas de cimento.

No caso das variações dimensionais a informação encontrada foi apenas de uma fonte pelo que não se pode definir um intervalo de valores. No quadro 32 os valores utilizados correspondem aos valores recolhidos aos 28 dias de idade.

6

CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DE ARGAMASSAS

6.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo vamos descrever os ensaios que realizamos e os resultados obtidos. Em anexo podem ser consultadas as fichas de ensaio de todos os ensaios realizados.

As argamassas testadas terão como ligante o cimento, a cal aérea, a cal hidráulica e ainda algumas argamassas utilizadas na realização do sistema ETICS.

Subdividiu-se as argamassas em argamassas correntes e argamassas utilizadas em ETICS sendo nestas últimas utilizadas espessuras menores. Alguns dos rebocos que vamos analisar são caracterizados por serem constituídos por mais que uma argamassa.

No quadro 33 identifica-se as argamassas que serão testadas e qual a nomenclatura que será utilizada neste capítulo.

Quadro 33 – Identificação das Argamassas

	Ref.ª	Observações
Argamassa de cal aérea	AE1	- Duas camadas de argamassa (emboço e reboco) -Cada camada com uma argamassa diferente. -Exceto no ensaio de medição da variação dimensional em que só se utiliza a argamassa de reboco
Argamassa de cal hidráulica	AE2	-Sistema de duas camadas (uma de emboço e uma de reboco) -Cada camada utiliza uma argamassa diferente.
Argamassa de cimento	AE3	Produto A
	AE4	Produto B
	AE5	Produto C
Argamassa utilizada em ETICS	AD1	Argamassa fibrada utilizada em sistemas ETICS (produto D)
	AD2	Argamassa fibrada utilizada em sistemas ETICS (produto E)
	AD3	Argamassa utilizada em sistema ETICS (produto F)
	AD4	Argamassa utilizada em sistema ETICS (produto G)

Por vezes serão testadas várias argamassas do mesmo tipo mas que correspondem a produtos diferentes para que a análise seja mais abrangente. Devido aos meios disponíveis serem em alguns campos menores do que os ideais e o tempo ser limitado não poderemos realizar todos os ensaios que seriam necessários para caracterizar completamente uma argamassa.

Ao abrigo deste projeto ir-se-á realizar quatro ensaios:

- **Determinação da aderência por tração**

Este ensaio dar-nos-á informação acerca de uma das características mecânicas da argamassa. Embora teria sido importante medir o módulo de elasticidade (E) e a resistência à tração das argamassas, tal não foi possível pois não existem equipamentos para fazer esse ensaio nem no Laboratório de Física das Construções nem na empresa com quem que este trabalho foi realizado.

- **Medição de variação dimensional**

Este ensaio será realizado através de um método experimental desenvolvido no Laboratório de Física das Construções. No entanto devido à escassez de recursos apenas se poderá realizar o ensaio em um provete. Como o ensaio é longo e o tempo para a realização deste projeto é bastante limitado não se poderá levar a termo este ensaio, ter-se-á então de terminar o ensaio logo que a sua conclusão seja condição para que se possa incluir os resultados obtidos até então neste trabalho.

- **Determinação de permeabilidade ao vapor de água (S_d e μ)**

Analisar o comportamento das argamassas quanto à passagem de vapor de água.

- **Determinação de coeficiente de absorção de água por imersão parcial (Aw)**

Pretende-se analisar qual o comportamento da argamassa quanto à absorção de água por capilaridade.

Em anexo encontram-se as fichas de ensaio de todos os ensaios realizados.

No quadro 34 apresenta-se mais informação sobre quais as argamassas que vão ser sujeitas a cada ensaio e sobre os ensaios.

Quadro 34 – Ensaios realizados e argamassas envolvidas

Ensaio / parâmetro a medir	Argamassas ensaiadas	Dimensões Provetes (m)	Número de provetes*	Observações
Permeabilidade ao vapor (Kg/(m.s.Pa))	AE1 AE2 AE3 AE4	0,21x0,21x0,015	3	
Coeficiente de Absorção de Água por Capilaridade	AE1 AE2 AE3 AE4 AE5 AD1 AD2 AD3 AD4	0,04x0,04x0,20	3	
Variações Dimensionais (m)	AE1	0,05x0,05x0,05	1	Só se utiliza a argamassa de emboço
Determinação da Aderência por Tração (*Pull-off*) (N/mm^2)	AE1 AE2 AE3 AE4 AE5 AD1 AD2 AD3 AD4	0,30x0,20x0,005 (AD1,AD2,AD3,AD4) 0,30x0,20x0,01 (AE1,AE2,AE3,AE4,AE5)	5	

*Para cada argamassa

6.2. PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA

6.2.1. DEFINIÇÃO, CONCEITOS E NORMALIZAÇÃO

Este ensaio foi realizado segundo a norma EN ISO 12572:2001 *"Thermal Performance of building materials and products – Determination of water vapour transmission properties"*.

Esta norma especifica quais as metodologias de ensaio adequadas para caracterizar as propriedades higrotérmicas dos materiais e produtos de construção. O método especificado nesta norma baseia-se na determinação da permeabilidade dos materiais de construção. Esta norma é aplicável a todos os materiais ou produtos de construção sendo estes higroscópicos ou não.

Nesta norma são especificados dois métodos de ensaio, o da tina seca e o da tina húmida. Neste projeto será realizado só o ensaio da tina húmida por se tratar do que melhor caracteriza as condições climatéricas da zona norte do nosso país.

As fichas de ensaio encontram-se no anexo A1 e a estrutura da ficha foi fornecida pelo LFC.

6.2.2. BREVE DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO

A amostra é colocada no lado superior da tina, a qual contém uma solução aquosa. Coloca-se a tina numa câmara climática com humidade relativa de 50% e temperatura de 23ºC.

O vapor passa através da amostra permeável devido à diferença de pressão existente entre a tina e a câmara.

São realizadas pesagens periódicas da tina com a amostra de forma a determinar a permeabilidade ao vapor de água da amostra.

6.2.3. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras devem ser representativas do produto e os métodos de preparação não devem danificar a superfície afectando a difusão do vapor. As amostras devem ser cortadas de acordo com as dimensões da tina escolhida. A espessura da amostra deve ser igual à normalmente utilizada na aplicação do produto. Neste caso a espessura deve ser de 1,5 cm.

Os moldes foram feitos em madeira e revestidos com plástico e fita adesiva de modo a que a madeira não absorvê-se a água das argamassas e de forma a que as superfícies fossem o mais lisas possível como acontece quando os moldes são metálicos.

6.2.4. ACONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS

Antes de se iniciar o ensaio, as amostras devem ser submetidas a temperaturas de (23±5)ºC e a humidades relativas da ordem dos (50±5)% até que o peso das amostras estabilize. Considera-se que o peso estabilizou quando ao fim de se realizarem em três dias consecutivos pesagens das amostras o desvio entre medições seja menor que 5%.

6.2.5. CONDIÇÕES DE ENSAIO

A temperatura e humidade relativa a que são feitos os ensaios são referenciados na norma. A solução aquosa utilizada no ensaio influencia a humidade relativa no interior da tina.

6.2.6. PREPARAÇÃO DO CONJUNTO DE ENSAIO

Prepara-se as amostras para corresponder com o equipamento de ensaio usado.

Mede-se a espessura com aproximações aos 0,1 mm ou com um erro de até 0,5%. Utiliza-se o que for mais rigoroso. Mede-se a espessura em quatro pontos igualmente espaçados e calcula-se a média.

A profundidade mínima de solução aquosa na tina deve ser de 15mm no fundo de cada tina.

Sela-se a amostra à tina e a altura de ar entre a solução aquosa e a amostra deve ser (15±5)mm.

Neste ensaio não se utilizou uma solução aquosa saturada como se refere na norma porque não havia dessa solução disponível pelo que se utilizou água. O ideal seria ter utilizado a solução aquosa saturada (por exemplo cloreto de potássio) pois garantiria uma humidade relativa de 93% e ao contrário da água não se corre o risco de existência de condensações na face inferior do provete. A água garante uma humidade de 100% obtendo-se resultados semelhantes aos que se obteria com a outra solução.

6.2.7. PROCEDIMENTO

Colocam-se as amostras na câmara de ensaio e pesam-se à vez em intervalos de tempo selecionados e constantes. As pesagens devem ser levadas a cabo em ambientes com temperatura ±2ºC do ambiente de teste e a humidade relativa e a temperatura devem ser registadas em contínuo.

O ensaio termina quando se consegue seis pesagens sucessivas cujas cinco variações correspondam a menos de ±5% do valor médio desta amostra e quando a mudança em peso do conjunto excede cem vezes a repetibilidade do processo de pesagem.

No caso do ensaio da tina húmida deve terminar-se o ensaio caso a perda de peso atinja metade da massa inicial.

Abaixo incluo algumas fotografias relativas ao ensaio e às suas diversas etapas:



Fig. 13 – Argamassa colocada nos moldes

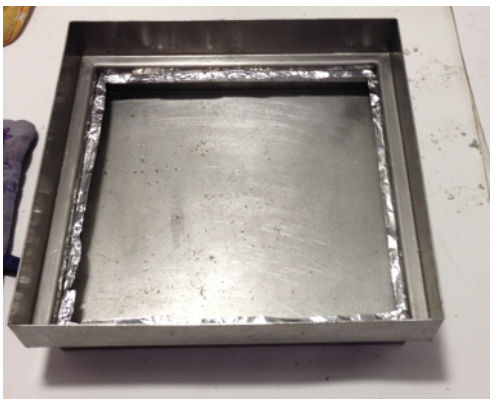


Fig. 14 – Tina metálica com água no fundo

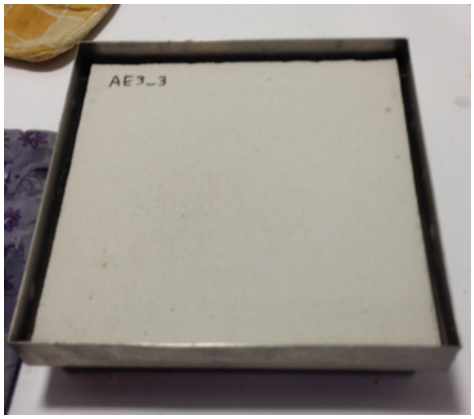


Fig. 15 – Coloca-se o provete no conjunto anterior



Fig. 16 – Sela-se as bordas com parafina líquida

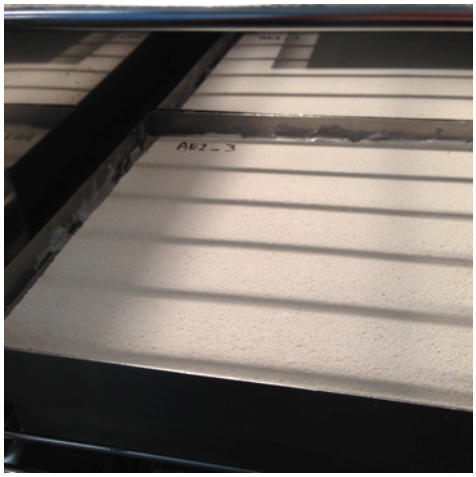


Fig. 17 – Provetes na câmara climática



Fig. 18 – Câmara climática

6.2.8. RESULTADOS

- **AE1 (ARGAMASSA DE CAL AÉREA)**

Na figura 19 evidencia-se a evolução da massa do provete AE1_2 ao longo do tempo.

O provete AE1_3 e o AE1_1 partiram-se aquando a desmoldagem ou processo de pesagem pelo que apenas temos um provete para recolher informação.

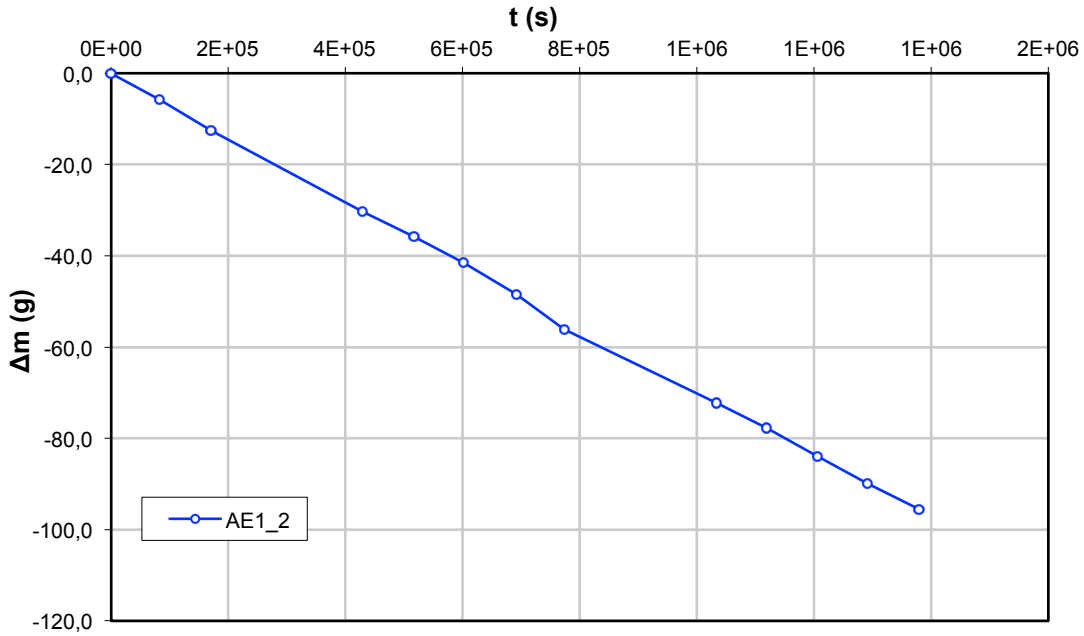


Fig. 19 – Ensaio de permeabilidade ao vapor de AE1 (cal aérea)

No quadro 35 encontram-se os resultados obtidos para a permeabilidade ao vapor do provete analisado.

Quadro 35 – Resultados para a permeabilidade ao vapor do sistema AE1

	AE1_2
Fluxo (G) (Kg/s)	$6{,}55 \times 10^{-8}$
Densidade de fluxo (g) [kg/(m^2·s)]	$1{,}40 \times 10^{-6}$
Permeância (W) [kg/(m^2·s·Pa)]	$1{,}27 \times 10^{-9}$
Permeabilidade δ [kg/(m·s·Pa)]	$1{,}91 \times 10^{-11}$
Factor de resistência à difusão μ [-]	10
Espessura da camada de ar de difusão equivalente Sd [m]	0,15

- **AE2 (ARGAMASSA DE CAL HIDRÁULICA)**

A figura 20 serve para ilustrar a variação mássica da argamassa AE2 ao longo do tempo.

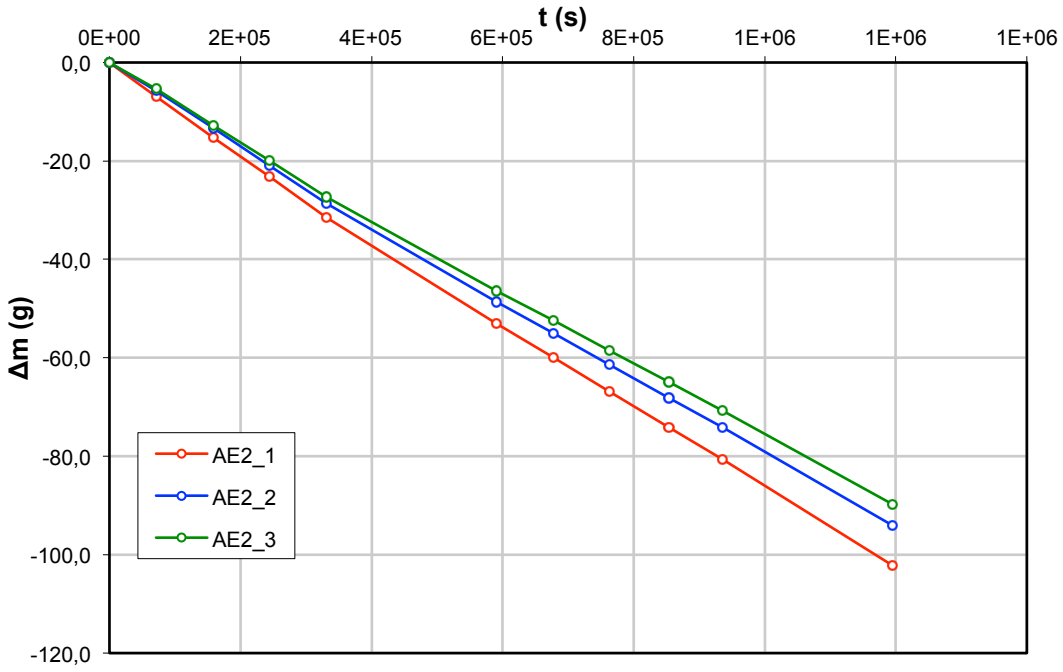


Fig. 20 – Variação mássica ao longo do tempo da argamassa AE2

O quadro 36 contem os resultados obtidos neste ensaio para a argamassa AE2.

Quadro 36 – Resultados obtidos para AE2 no ensaio de permeabilidade ao vapor

	AE2_1	AE2_2	AE2_3	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Fluxo (G) (Kg/s)	$8{,}13\text{x}10^{-8}$	$7{,}53\text{x}10^{-8}$	$7{,}17\text{x}10^{-8}$	$7{,}61\text{x}10^{-8}$	$4{,}87\text{x}10^{-9}$
Densidade de fluxo (g) [kg/(m^2·s)]	$1{,}74\text{x}10^{-6}$	$1{,}61\text{x}10^{-6}$	$1{,}55\text{x}10^{-6}$	$1{,}63\text{x}10^{-6}$	$9{,}86\text{x}10^{-8}$
Permeância (W) [kg/(m^2·s·Pa)]	$1{,}63\text{x}10^{-9}$	$1{,}49\text{x}10^{-9}$	$1{,}43\text{x}10^{-9}$	$1{,}51\text{x}10^{-6}$	$1{,}02\text{x}10^{-10}$
Permeabilidade δ [kg/(m·s·Pa)]	$2{,}44\text{x}10^{-11}$	$2{,}23\text{x}10^{-11}$	$2{,}14\text{x}10^{-11}$	$2{,}27\text{x}10^{-11}$	$1{,}54\text{x}10^{-12}$
Factor de resistência à difusão μ [-]	7,83	8,56	8,93	8,44	0,56
Espessura da camada de ar de difusão equivalente S_d [m]	0,12	0,13	0,13	0,13	$8{,}38\text{x}10^{-3}$

- **AE3 (ARGAMASSA CIMENTÍCIA)**

Na figura 21 vê-se a variação ao longo do tempo da massa do sistema (provete já colocado a tina e preparado para o ensaio).

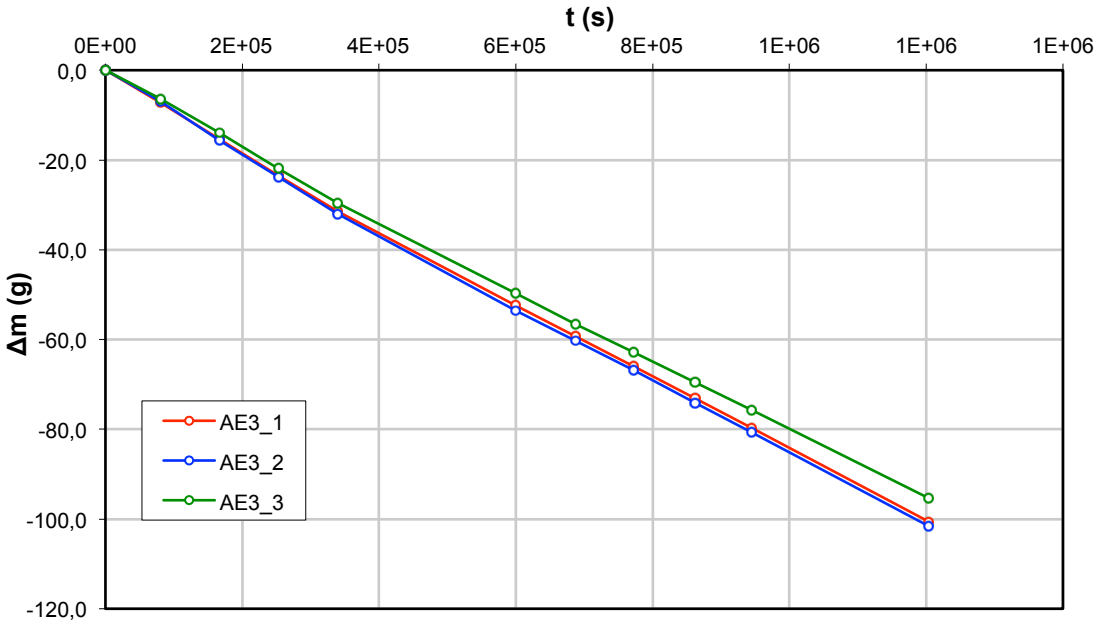


Fig. 21 – Variação mássica ao longo do tempo do conjunto correspondente a AE3

No quadro 37 encontram-se os resultados obtidos.

Quadro 37 - Resultados da permeabilidade ao vapor para AE3

	AE3_1	AE3_2	AE3_3	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Fluxo (G) (Kg/s)	$7{,}97\text{x}10^{-8}$	$7{,}96\text{x}10^{-8}$	$7{,}53\text{x}10^{-8}$	$7{,}82\text{x}10^{-8}$	$2{,}50\text{x}10^{-9}$
Densidade de fluxo (g) [kg/(m^2·s)]	$1{,}71\text{x}10^{-6}$	$1{,}70\text{x}10^{-6}$	$1{,}63\text{x}10^{-6}$	$1{,}68\text{x}10^{-6}$	$4{,}43\text{x}10^{-8}$
Permeância (W) [kg/(m^2·s·Pa)]	$1{,}59\ \text{x}10^{-9}$	$1{,}58\text{x}10^{-9}$	$1{,}51\text{x}10^{-9}$	$1{,}56\text{x}10^{-9}$	$4{,}61\text{x}10^{-11}$
Permeabilidade δ [kg/(m·s·Pa)]	$2{,}38\text{x}10^{-11}$	$2{,}37\text{x}10^{-11}$	$2{,}26\text{x}10^{-11}$	$2{,}34\text{x}10^{-11}$	$6{,}91\ \text{x}10^{-13}$
Factor de resistência à difusão μ [-]	8,01	8,05	8,45	8,17	0,246
Espessura da camada de ar de difusão equivalente S_d [m]	0,12	0,12	0,13	0,12	$3{,}69\text{x}10^{-3}$

- **AE4 (ARGAMASSA CIMENTÍCIA)**

Na figura 22 e no quadro 38 encontram-se os valores obtidos através do ensaio de permeabilidade desta argamassa. Na figura 22 consegue ver-se a variação da massa de cada provete ao longo do tempo.

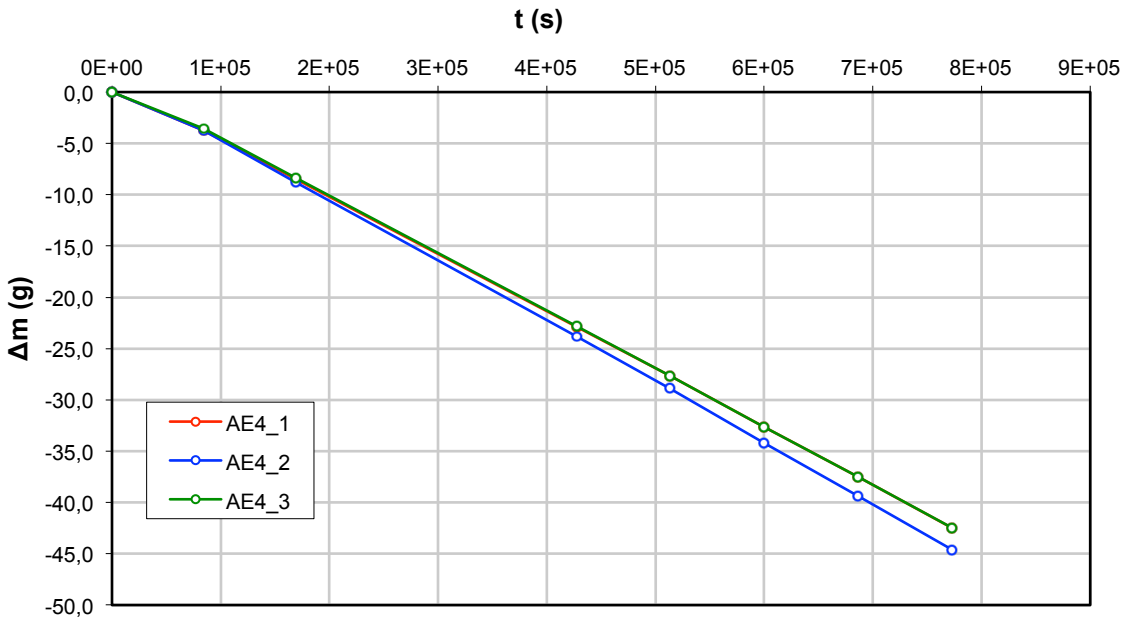


Fig. 22 – Variação mássica do conjunto de ensaio ao longo do tempo da argamassa AE4

No quadro 38 apresentam-se os resultados obtidos.

Quadro 38 – Valores obtidos para as propriedades relacionadas com a permeabilidade ao vapor para AE4

	AE4_1	AE4_2	AE4_3	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Fluxo (G) (Kg/s)	$5{,}60\text{x}10^{-8}$	$5{,}90\text{x}10^{-8}$	$5{,}64\text{x}10^{-8}$	$5{,}71\text{x}10^{-8}$	$1{,}62\text{x}10^{-9}$
Densidade de fluxo (g) [kg/(m^2·s)]	$1{,}20\text{x}10^{-6}$	$1{,}26\text{x}10^{-6}$	$1{,}22\text{x}10^{-6}$	$1{,}23\text{x}10^{-6}$	$3{,}10\text{x}10^{-8}$
Permeância (W) [kg/(m^2·s·Pa)]	$1{,}08\text{x}10^{-9}$	$1{,}14\text{x}10^{-9}$	$1{,}09\text{x}10^{-9}$	$1{,}10\text{x}10^{-9}$	$3{,}03\text{x}10^{-11}$
Permeabilidade δ [kg/(m·s·Pa)]	$1{,}62\text{x}10^{-11}$	$1{,}70\text{x}10^{-11}$	$1{,}64\text{x}10^{-11}$	$1{,}65\text{x}10^{-11}$	$4{,}55\ \text{x}10^{-13}$
Factor de resistência à difusão μ [-]	11,8	11,2	11,6	11,5	$3{,}14\text{x}10^{-1}$
Espessura da camada de ar de difusão equivalente S_d [m]	0,18	0,17	0,17	0,17	$4{,}71\text{x}10^{-3}$

6.2.9. SÍNTESE

No quadro 39 apresenta-se os valores médios da espessura da camada de ar de difusão equivalente e do coeficiente de resistência à difusão do vapor de água das argamassas testadas.

Quadro 39 – Síntese de valores obtidos de Sd e μ

	AE1	AE2	AE3	AE4
Espessura de Difusão Equivalente (S_d) [m]	0,15	0,13	0,12	0,17
Factor de Resistência à difusão (μ) [-]	10	8,44	8,17	11,5

Para mais facilmente conseguirmos retirar conclusões do comportamento das argamassas vamos comparar estas com os valores encontrados para esta propriedade no capítulo anterior (capítulo 5). Na figura 23 cruzou-se, para além dos dados obtidos experimentalmente e através da bibliografia, os valores impostos pelas normas.

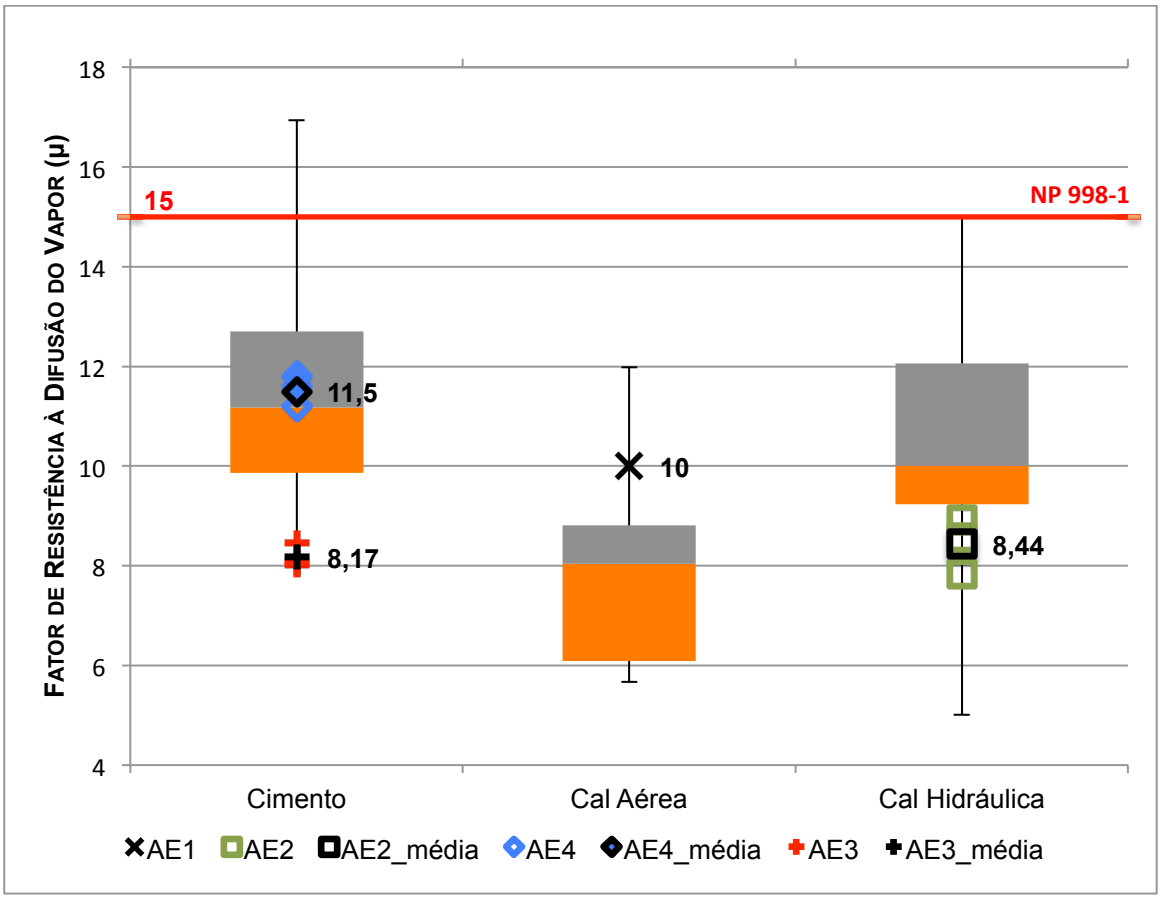


Fig. 23 –Síntese de valores obtidos, recolhidos e normativos do fator de resistência à difusão do vapor

Como limite adotou-se o valor de μ igual a 15 pois, como já foi referido, este é o único limite que a norma refere (embora seja apenas para as argamassas do tipo "R-argamassas de renovação para rebocos" e do tipo "T – argamassas de isolamento térmico para rebocos"). Para os outros tipos de

argamassa a norma diz apenas que o valor tem de ser superior ao valor declarado. Considerou-se este valor para termos um valor de referência.

Neste gráfico conseguimos ver que os valores obtidos experimentalmente estão na sua maioria dentro dos intervalos elaborados com recurso a bibliografia. Podemos ainda concluir que todas elas satisfazem o valor que se considerou normativo.

Comparativamente os valores obtidos para a cal aérea foram um pouco mais elevados do que seria de esperar no entanto não podemos esquecer a incerteza associada a este valor pois apenas foi analisado um provete.

A argamassa que tem maiores valores de fator de resistência à difusão do vapor de água é a argamassa cimentícia AE4. A que apresentou menores valores desta propriedade foi a argamassa AE3.

6.3. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO PARCIAL(A_w)

6.3.1. DEFINIÇÃO, CONCEITOS E NORMALIZAÇÃO

Este ensaio realizou-se segundo a norma ISO 15148 de 2002.

6.3.2. BREVE DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO

A absorção de água por imersão parcial determinada pela medição da variação de massa da amostra , sendo que a parte inferior da amostra está em contacto com água por um período de pelo menos 24 horas.

A água que está à superfície mas não foi absorvida é removida, , com o auxilio de uma esponja.

6.3.3. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras devem ser representativas do produto, ter secção constante e não devem conter irregularidades. Foram testadas três amostras em vez de seis devido a um erro de interpretação da norma. Visto que com três provetes já temos resultados satisfatórios, decidiu-se realizar os ensaios desta forma.

Os moldes foram feitos em madeira e revestidos com plástico e fita adesiva de modo a que a madeira não absorvêsse a água das argamassas e de forma a que as superfícies fossem o mais lisas possível como acontece quando os moldes são metálicos.

Os lados da amostra devem ser selados com um produto impermeável ao vapor de água e à água líquida.

6.3.4. ACONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS

A temperatura de ensaio deve variar entre 18 e 28 ºC com um desvio de ±2ºC. A humidade relativa deve estar entre os 40 e 60 % sendo permitido um desvio de 5%. As amostras devem ser armazenadas em local com temperatura e humidade relativa dentro dos intervalos anteriormente referidos.

6.3.5. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

- Pesa-se cada amostra;
- Enche-se o tanque com água corrente até à profundidade especificada, neste caso até termos 10 mm de profundidade e certifica-se que esta se encontra à temperatura do ensaio;
- Coloca-se a amostra e certifica-se que esta fica corretamente apoiada e com o espaçamento da base do tanque de 5mm.
- Verifica-se que a água se mantem a 10±2 mm da base;
- Começa-se a contar o tempo quando a amostra se encontra imersa;
- Após aproximadamente 5 minutos remove-se a amostra da água, seca-se-á com uma esponja e pesa-se.
- Repete-se o procedimento de pesagem após 20 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 8 horas e depois mais duas vezes pelo menos sendo que uma delas pode ser a pesagem que corresponde às 24 horas.

Na figura 24 apresenta-se um breve esquema que pretende ilustrar o método de ensaio.

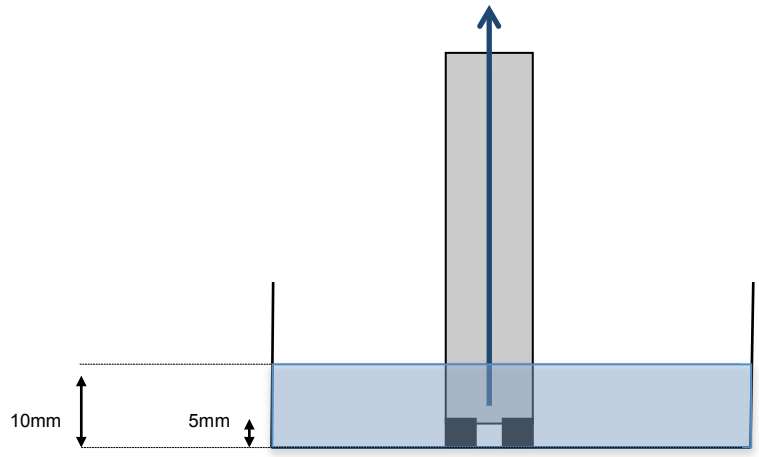


Fig. 24 – Esquema respresentativo do ensaio de absorção de água por capilaridade

Se a água aparecer na superfície superior da amostra o ensaio deve ser encerrado, bem como se o aumento de massa for menor que 1 g/m^2 de área da face após 8 horas.

Apresentam-se de seguida algumas fotografias sobre o ensaio e as suas etapas.

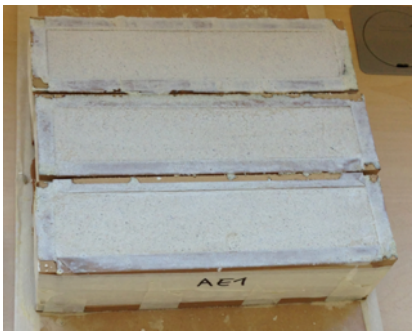


Fig. 25 – Argamassa nos moldes



Fig. 26 - Desmoldagem

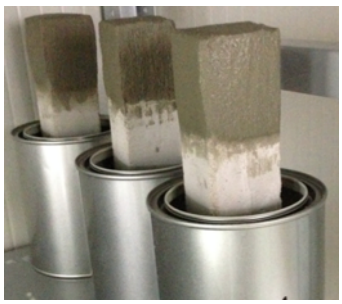


Fig. 27 – Provetes com barramento



Fig. 28 – Impermeabilização das faces maiores dos provetes

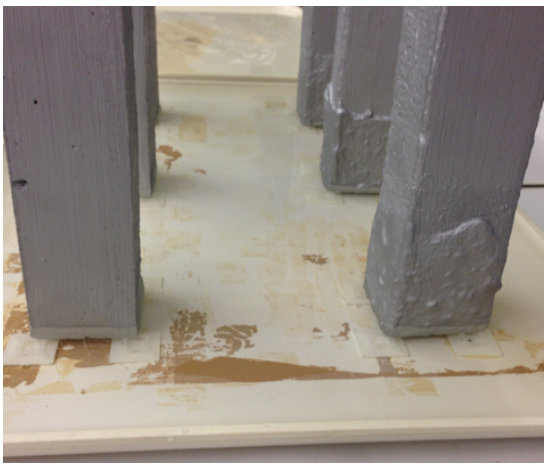


Fig. 29 – Realização do ensaio

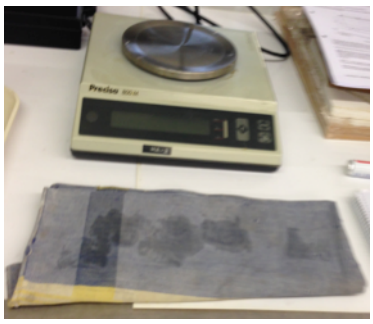


Fig. 30 – Equipamento utilizado nas pesagens

6.3.6. RESULTADOS

Procede-se ao cálculo da variação de massa por unidade de área aquando de cada medição. No fim do ensaio faz-se um gráfico com a variação da massa por unidade de área em relação à raiz quadrada do tempo decorrido. O gráfico pode ser do tipo A ou B dependendo se a linha tendência dos pontos é recta ou curva, respectivamente. Consoante o gráfico seja do tipo A ou B o método de cálculo de A_w é diferente, (ISO 15148:2002).

Depois de obtido o valor de A_w poder-se-á caracterizar o produto segundo a norma alemã DIN 52.617, da seguinte forma:

Quadro 40 – Classificação de argamassas quanto à absorção de água segundo DIN 52.617

$A>3{,}33\times10^{-2}$ kg/(m^2.s^{0,5})	Sucção rápida
$A<3{,}33\times10^{-2}$ kg/(m^2.s^{0,5})	Preventivo contra a água
$A<8{,}33\times10^{-3}$ kg/(m^2.s^{0,5})	Quase impermeável
$A<1{,}65\times10^{-5}$ kg/(m^2.s^{0,5})	Impermeável

No caso das argamassas AE1 e AE2 foi feito o provete, com as dimensões especificadas acima, em argamassa de emboço e um revestimento de 4 mm de espessura num dos topos do provete e até 40 mm de altura com a argamassa de reboco. Fez esta adaptação pois AE1 e AE2 são constituídas por duas camadas e achou-se que desta forma poder-se-ia melhor representar a realidade.

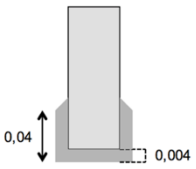


Fig. 31 – Esquema de barramento (m)

- **AE1 (argamassa de cal aérea)**

Na figura 32 apresenta-se o gráfico obtido para o ensaio em causa e que é do tipo A como se pode ver.

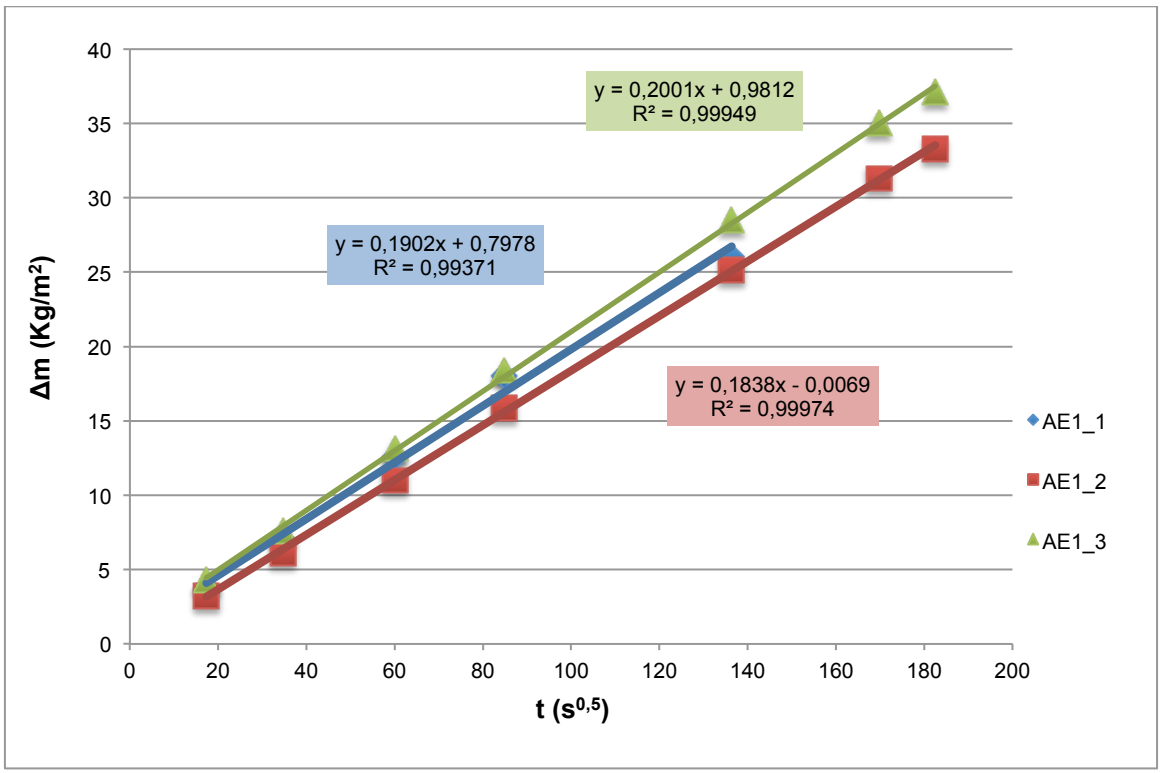


FIg. 32 – Gráfico relativo a ensaio de determinação do coeficiente de absorção de águapor capilaridade AE1

No quadro 41 encontram-se os resultados de Aw que estão mais detalhados na ficha de ensaio (Anexo A2) conseguiu-se chegar aos resultados que de seguida se apresentam.

Quadro 41 – Valores obtidos de coeficiente de absorçaõa de água para AE1.

Provete	Aw ($Kg/(m^2.s^{0,5})$)	Média ($Kg/(m^2.s^{0,5})$)	Desvio Padrão	Caracterização (DIN 52.617)
AE1_1	$19,02x10^{-2}$	$19,14x10^{-2}$	0,821	"Sucção Rápida"
AE1_2	$18,38x10^{-2}$			
AE1_3*	$20,01x10^{-2}$			

*Este provete ao contrário dos outros só tem 11 centímetros de altura pois partiu aquando da desmoldagem.

Como estes provetes têm o revestimento de 4 mm de argamassa de reboco dever-se-ia no gráfico denotar uma quebra que corresponderia à passagem da água do reboco para o emboço. Como se pode ver tal não se verificou.

- **AE2 (argamassa de cal hidráulica)**

A figura 33 e o quadro 42 sintetizam os resultados do ensaio.

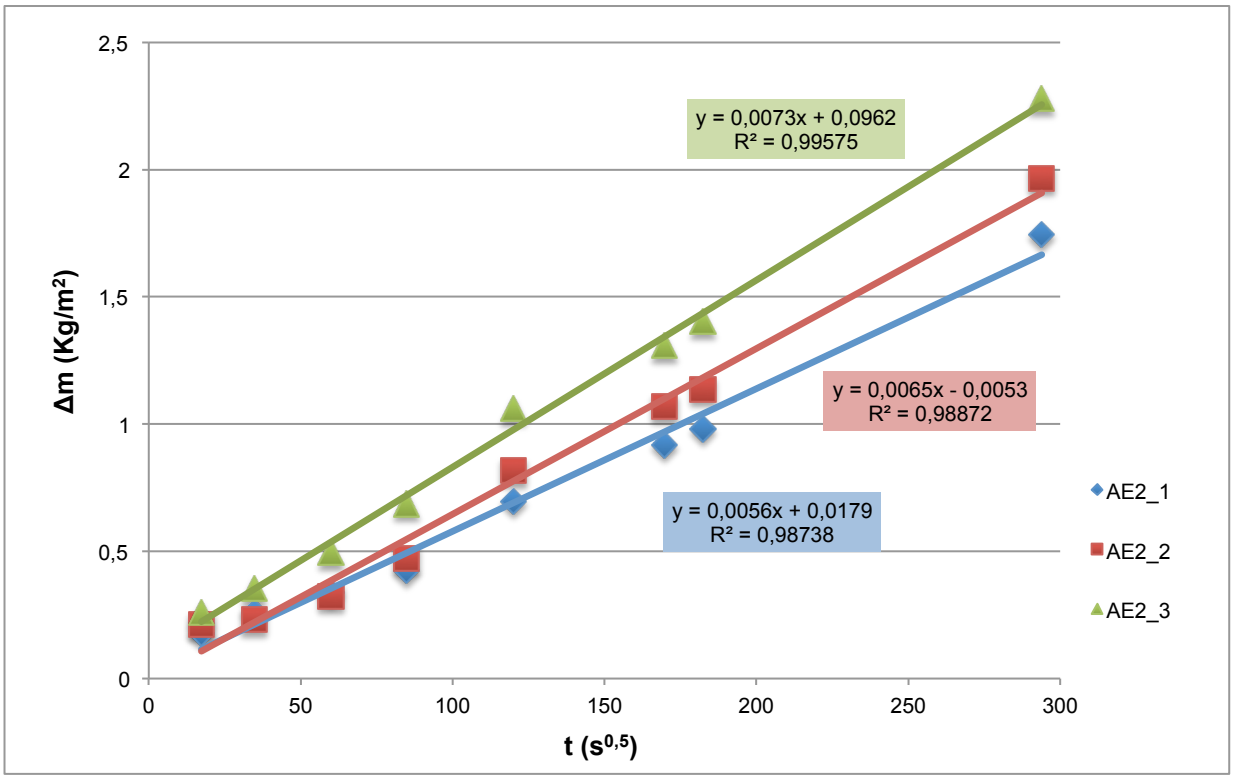


Fig. 33 – Gráfico relativo a ensaio de determinação de coeficiente de absorção de água para AE2

Como podemos observar o gráfico é do tipo A. Os resultados encontram-se no quadro 42, sendo possível consultar a ficha de ensaio no anexo A2.

Quadro 42 – Valores obtidos para coeficiente de absorção de água para AE2

		Aw (Kg/(m^2.s^{0,5})		
Provete	Aw (Kg/(m^2.s^{0,5})	Média (Kg/(m^2.s^{0,5})	Desvio Padrão	Caracterização (DIN 52.617)
AE2_1	0,56 x10^{-2}	0,65 x10^{-2}	0,085	"Quase Impermeável"
AE2_2	0,65 x10^{-2}			
AE2_3	0,73 x10^{-2}			

Como estes provetes têm o revestimento de 4 mm de argamassa de reboco dever-se-ia no gráfico denotar uma quebra, no entanto tal não se verificou.

- **AE3 (argamassa cimentícia)**

Na figura 34 pode ver-se qual o comportamento da argamassa em relação à absorção de água.

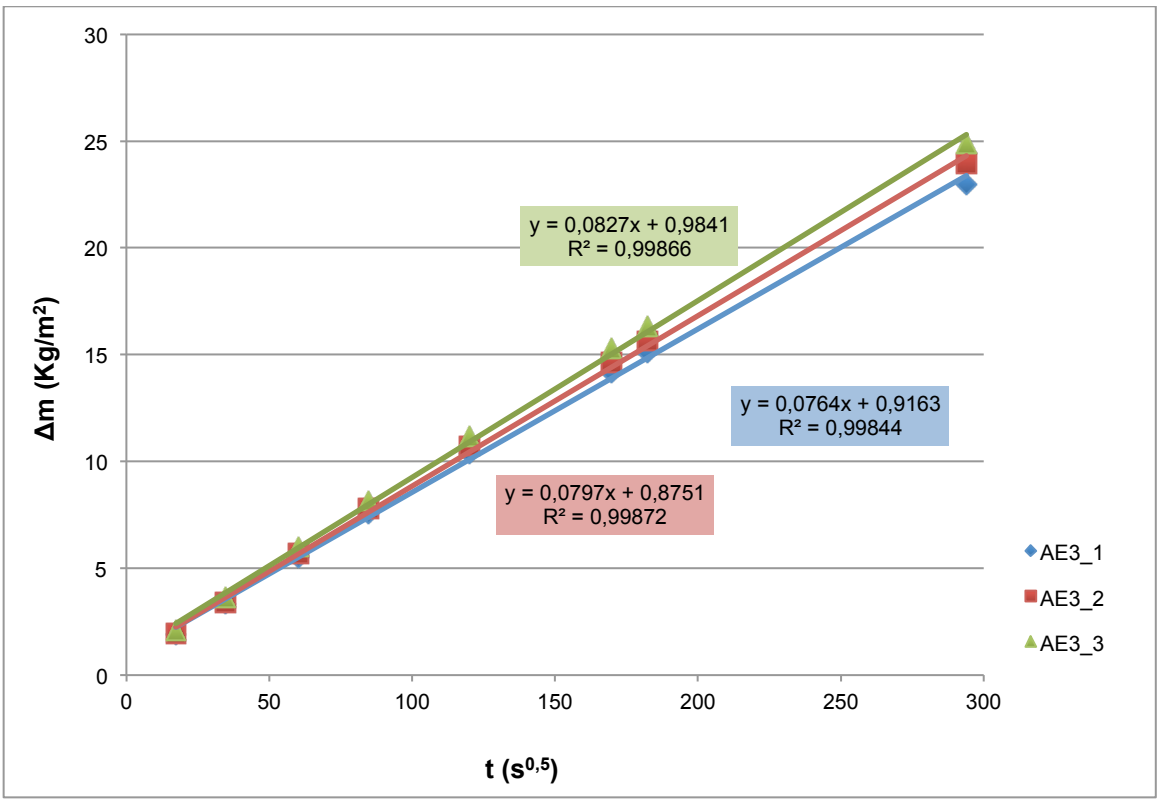


Fig. 34 – Gráfico relativo a ensaio de determinação de coeficiente de absorção de água para AE3

O gráfico é do tipo A, segundo a norma de ensaio referida, e os resultados encontram-se no quadro 43. A ficha de ensaio com a restante informação encontra-se no anexo A2.

Quadro 43 – Valores obtidos para o coeficiente de absorção de água para AE3

Provete	Aw ($Kg/(m^2.s^{0,5})$)	Aw Média ($Kg/(m^2.s^{0,5})$)	Desvio Padrão	Caracterização (DIN 52.617)
AE3_1	$7,64 \times 10^{-2}$	$7,96 \times 10^{-2}$	0,315	"Sucção Rápida"
AE3_2	$7,97 \times 10^{-2}$			
AE3_3	$8,27 \times 10^{-2}$			

- **AE4 (aragamassa cimentícia)**

A figura 35 mostra-nos a variação mássica ao longo do tempo dos provetes e o quadro 45 mostra os resultados obtidos para Aw.

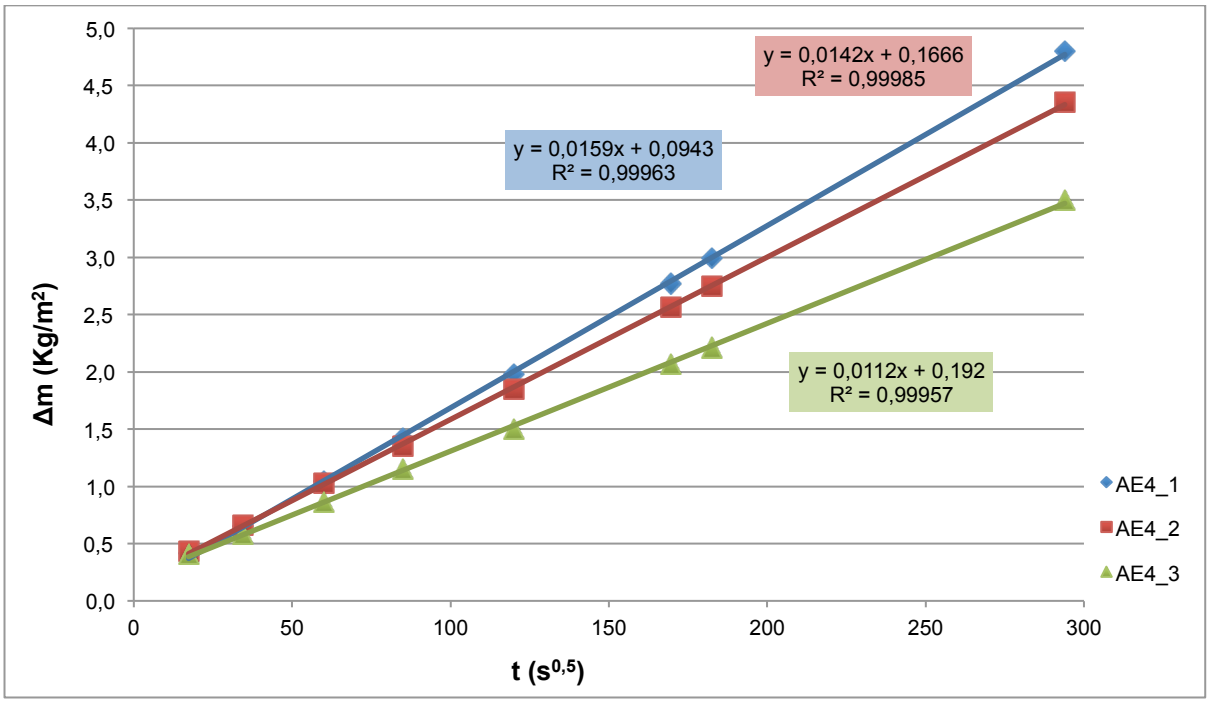


Fig. 35 – Gráfico relativo a ensaio de determinação de coeficiente de absorção de água para AE4

O gráfico obtido é do tipo A. Os resultados estão no quadro 44, pode encontrar-se mais informação na ficha de ensaio no anexo A2.

Quadro 44 – Valores obtidos para o coeficiente de absorção de água para AE4

Provete	Aw ($Kg/(m^2.s^{0,5})$)	Aw Média ($Kg/(m^2.s^{0,5})$)	Desvio Padrão	Caracterização (DIN 52.617)
AE4_1	$1,59 \times 10^{-2}$	$1,38 \times 10^{-2}$	0,238	"Preventivo contra a água"
AE4_2	$1,42 \times 10^{-2}$			
AE4_3	$1,12 \times 10^{-2}$			

- **AE5 (argamassa cimentícia)**

Na figura 36 encontram-se as variações mássicas ao longo do tempo para esta argamassa.

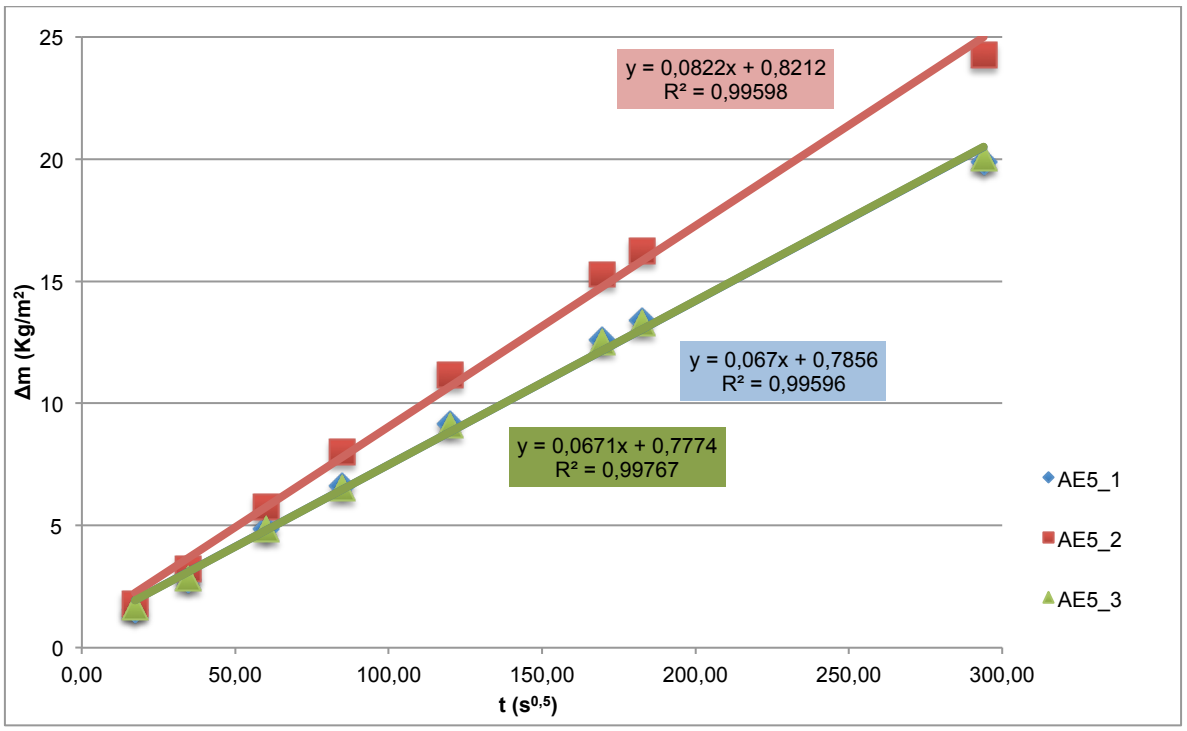


Fig. 36 – Gráfico relativo a ensaio de determinação de coeficiente de absorção de água para AE5

O gráfico acima é do tipo A. No quadro 45 expõe-se os resultados obtidos para Aw e a ficha de ensaio que pode ser consultada no anexo A2.

Quadro 45 – Valores obtidos para o coeficiente de absorção de água de AE5

	Aw ($Kg/(m^2.s^{0,5})$)			
Provete	Aw ($Kg/(m^2.s^{0,5})$)	Média ($Kg/(m^2.s^{0,5})$)	Desvio Padrão	Caracterização (DIN 52.617)
AE5_1	$4,19 \times 10^{-2}$	$4,43 \times 10^{-2}$	0,511	"Sucção Rápida"
AE5_2	$5,02 \times 10^{-2}$			
AE5_3	$4,09 \times 10^{-2}$			

6.3.7. SÍNTESE

Em suma, os resultados obtidos são os que aparecem no quadro 46.

Quadro 46 – Síntese de resultados dos coeficientes de absorção de água das argamassas

Argamassa/Sistema	Aw ($Kg/(m^2.s^{0,5})$)	Caracterização (DIN 52.617)
AE1*	$19,14 \times 10^{-2}$	"Sucção Rápida"
AE2 *	$0,65 \times 10^{-2}$	"Quase Impermeável"
AE3	$7,96 \times 10^{-2}$	"Sucção Rápida"
AE4	$1,38 \times 10^{-2}$	"Preventivo contra a água"
AE5	$4,43 \times 10^{-2}$	"Sucção Rápida"

*Argamassas com barramento

Quanto maior for o A_w maior é a absorção de água pelo provete ao longo do tempo, como podemos verificar pela tabela de classificação da norma alemã DIN 52.617.

O material que absorve mais água por capilaridade é o sistema AE1 e o mais impermeável é a argamassa AE2.

No gráfico seguinte comparam-se os valores experimentais com os valores recolhidos da bibliografia e com o limite imposto pela norma em vigor.

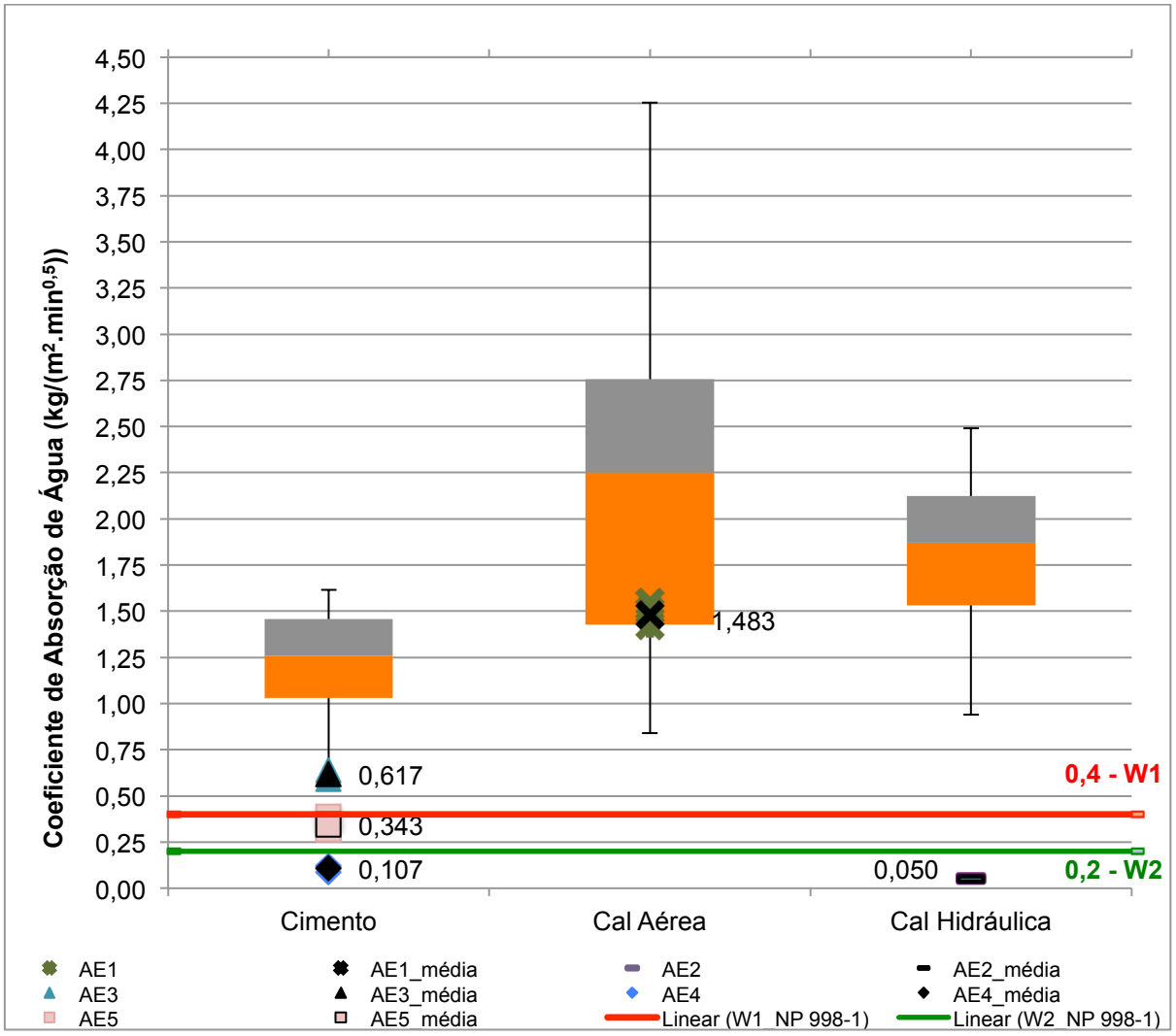


Fig. 37 – Gráfico síntese de valores do coeficiente de absorção de água

Através da análise deste gráfico conseguimos perceber que as duas argamassas que demonstrarm comportamento inadequado, segundo a norma NP 998-1, foram as argamassas AE1 e AE3.

As argamassas que demonstraram menor coeficiente de absorção de água são a argamassa AE2 e a AE4, sendo por isso mais impermeáveis.

Os limites W1 e W2 são os limites impostos pela norma, no entanto, para argamassas de uso geral apenas devem cumprir o requisito W1.

Refira-se que na procura bibliográfica não se sabe qual a norma de ensaio utilizada daí que alguns valores recolhidos possam ser dispersos, deve ter-se em atenção este facto.

6.4. DETERMINAÇÃO DA ADERÊNCIA POR TRAÇÃO (*PULL-OFF*)

6.4.1. DEFINIÇÃO, CONCEITOS E NORMALIZAÇÃO

Para a realização deste ensaio seguiu-se a norma EN 1015-12 de Fevereiro de 2000.

A força adesiva é determinada como sendo a máxima tensão aplicada por uma carga direta aplicada perpendicularmente à superfície da argamassa no substrato.

6.4.2. BREVE DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO

Esta tensão é aplicada por um equipamento que contém um disco metálico colado à área de teste da argamassa. A força adesiva obtida é o quociente entre a carga que provocou a rotura e a área de teste.

6.4.3. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Deve ser cortada da placa de argamassa um círculo de 50 mm de diâmetro enquanto esta se encontra ainda fresca, de forma a minimizar a perturbação na argamassa que vai ser testada.

Neste caso especifico, o suporte escolhido foi um tijolo de alvenaria de 15 centímetros de espessura. Sobre a lateral do tijolo aplica-se a argamassa na sua face não furada mais longa. A espessura da argamassa deve ser 10 mm ± 1 mm. No caso das argamassas usadas no sistema ETICS usa-se uma espessura de 5mm para melhor reproduzir a realidade.

6.4.4. ACONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS

Quando a argamassa estiver suficientemente endurecida deve-se colocar a amostra dentro de um saco de polietileno selado durante 7 dias.

As amostras devem ser armazenadas a uma temperatura de 20ºC ± 2ºC e uma humidade relativa de 65% ± 5%. Embora nos ensaios realizados apenas se conseguiu armazenar as amostras a humidade relativa de 55% ± 5% pois não existia local de armazenamento que garantisse essas condições. A sala encontrava-se climatizada com o equipamento *"Liebert HPM – Precision Cooling"* garantindo assim a estabilidade da temperatura e humidade relativa em todo o compartimento.

6.4.5. PROCEDIMENTO

Cola-se o disco metálico com produto adesivo no centro da área de teste (de diâmetro 50 mm aproximadamente).

As amostras devem ser testadas aos 28 dias imediatamente a seguir a serem retiradas da atmosfera de armazenamento.

Usando o equipamento de ensaio "POSITEST ADHESIVE TESTER" aplica-se uma tensão de tração perpendicular à área em teste com o disco metálico. A tenção aplicada deve ser aumentada a um ritmo constante, entre os 0,003N/(mm2xs) e os 0,100N/(mm2xs), dependendo da força adesiva que se espere encontrar. A rotura deve ocorrer entre os 20 s e 60 s. Aquando a rotura regista-se o valor da carga.

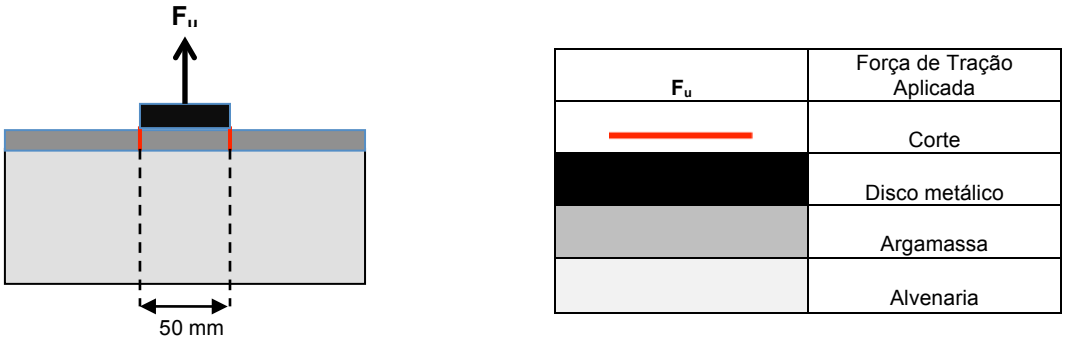


Fig. 38 – Esquema para realização de *pull-off*

De seguida incluo algumas fotografias do ensaio e de alguns passos da sua elaboração.



Fig.39 – Colocação da argamassa



Fig. 40 – Argamassa selada com plástico nos primeiros sete dias

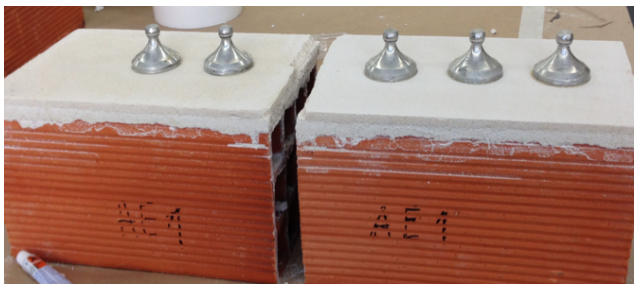


Fig. 41 – Argamassa com pastilhas do equipamento de ensaio coladas

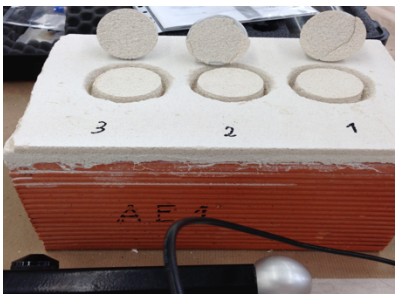


Fig. 42 – Após ensaio (observação dos módulos de rotura)

6.4.6. RESULTADOS

Para além dos resultados do teste serão também apresentados os modos de rotura designados conforme a normativa de:

a) rotura entre a argamassa e o suporte

b) rotura na argamassa

c) rotura no suporte do material

A superfície de rotura tem uma área constante pois o corte dado na argamassa, em algumas ainda frescas e noutras já quando endurecidas, tem uma área constante e coincidente com a do equipamento que vai aplicar a tensão de tração na argamassa.

- **AE1 (argamassa de cal aérea)**

No quadro 47 apresentam-se os resultados obtidos neste ensaio.

Quadro 47 – Resultados obtidos de aderência para AE1

Provete	Número de camadas	Espessura (m)	Força de rotura (KN)	Superfície de rotura (mm²)	Tensão de rotura (MPa)	Tipo de rotura	Tensão média de rotura (MPa)	Diferença máxima relativamente ao valor médio (%)
AE1_1	2*	0,01	484,1	1962,5	0,95	b)	0,53	80
AE1_2			397,5	1962,5	0,78	b)		
AE1_3			86,6	1962,5	0,17	b)		
AE1_4			239,5	1962,5	0,47	b)		-68
AE1_5			137,6	1962,5	0,27	b)		

*AE1 é constituída por duas camadas de argamassa de cal aérea. A espessura do emboço foi um pouco superior à do reboco para melhor retratar a realidade.

Neste caso os valores obtidos são muito díspares entre si, obtendo-se diferenças máximas em relação ao valor médio muito elevadas. O que faz com que o valor médio apresentado têm uma grande incerteza associada. No entanto todos as áreas submetidas ao ensaio romperam pela argamassa o que significa que o padrão de rotura desta argamassa tende a ser esse.

- **AE2 (argamassa de cal hidráulica)**

No quadro 48 apresentam-se os resultados obtidos para AE2.

Quadro 48 – Valores obtidos para a aderência para a argamassa AE2

Provete	Número de camadas	Espessura (m)	Força de rotura (KN)	Superfície de rotura (mm²)	Tensão de rotura (MPa)	Tipo de rotura	Tensão média de rotura (MPa)	Diferença máxima relativamente ao valor médio (%)
AE2_1	2*	0,01	504,5	1962,5	0,99	b)	0,80	33
AE2_2			433,1	1962,5	0,85	b)		
AE2_3			351,6	1962,5	0,69	b)		
AE2_4			259,9	1962,5	0,51	b)		-38
AE2_5			560,5	1962,5	1,10	b)		

*Esta espessura foi conseguida através de duas argamassas por se tratar de um sistema de mais de uma camada.

A rotura ocorreu sempre pela argamassa (tipo de rotura b)). Existe uma dispersão significativa dos valores.

- **AE3 (argamassa cimentícia)**

No quadro 49 apresentam-se os valores obtidos para a argamassa AE3.

Quadro 49 – Valores obtidos para a aderência para a argamassa AE3

Provete	Número de camadas	Espessura (m)	Força de rotura (KN)	Superfície de rotura (mm²)	Tensão de rotura (MPa)	Tipo de rotura	Tensão média de rotura (MPa)	Diferença máxima relativamente ao valor médio (%)
AE3_1	1	0,01	114,4	1962,5	0,22	a)	0,3	13
AE3_2			158,0	1962,5	0,31	a)		
AE3_3			147,8	1962,5	0,29	a)		
AE3_4			107,0	1962,5	0,21	a)		-30
AE3_5			173,2	1962,5	0,34	a)		

Os resultados obtidos para esta argamassa são coerentes variando apenas na ordem dos 0,1 MPa. A diferença em relação à média é pequena o que se pode verificar pelos valores obtidos para a diferença máxima relativamente ao valor médio.

- **AE4 (argamassa cimentícia)**

No quadro 50 apresentam-se os resultados obtidos neste ensaio para esta argamassa.

Quadro 50 – Valores obtidos para a aderência da argamassa AE4

Provete	Número de camadas	Espessura (m)	Força de rotura (KN)	Superfície de rotura (mm²)	Tensão de rotura (MPa)	Tipo de rotura	Tensão média de rotura (MPa)	Diferença máxima relativamente ao valor médio (%)
AE4_1	2	0,01	441,9	1923,4	0,85	c)	0,90	45
AE4_2	2	0,01	424,5	1884,8	0,80	c)		
AE4_3	2	0,01	682,8	1962,5	1,34	b)		
AE4_4	2	0,01	458,6	1962,5	0,90	b)		-20
AE4_5	2	0,01	377,1	1962,5	0,74	c)		

Maioritariamente a rotura deu-se ao nível do suporte, tendo no entanto a rotura ocorrido ao nível da argamassa em duas das situações apresentadas acima e os valores da tensão de rotura dessas amostras são os mais elevados. A rotura é coesiva.

Neste caso existe uma maior dispersão dos valores como podemos pela diferença entre os valores extremos e a média apresentados acima em percentagem.

- **AE5 (argamassa cimentícia)**

No quadro 51 apresentam-se os resultados obtidos do ensaio de arrancamento para a argamassa AE5.

Quadro 51 – Valores obtidos para a aderência da argamassa AE5

Provete	Número de camadas	Espessura (m)	Força de rotura (KN)	Superfície de rotura (mm²)	Tensão de rotura (MPa)	Tipo de rotura	Tensão média de rotura (MPa)	Diferença máxima relativamente ao valor médio (%)
AE5_1	1	0,01	315,9	1962,5	0,62	a)	0,90	41
AE5_2	1	0,01	550,3	1962,5	1,08	b)		
AE5_3	1	0,01	657,3	1962,5	1,29	b)		
AE5_4	1	0,01	422,9	1962,5	0,83	b)		-32
AE5_5	1	0,01	382,2	1962,5	0,75	b)		

Na sua maioria a argamassa rompeu pela argamassa, rotura coesiva. Houve no entanto um caso em que a rotura ocorreu entre a argamassa e o suporte (rotura adesiva).

Os valores obtidos não são constantes pois a diferença máxima relativamente ao valor médio são elevados.

6.4.7. CONCLUSÕES

No gráfico seguinte faz-se uma síntese dos dados obtidos experimentalmente e incorpora-se estes valores e o limite normativo da norma DTU 26.1 de 1990 de um limite minimo de 0,3 MPa, no gráfico com os dados obtidos em pesquisa bibliográfica, já apresentados no capítulo anterior.

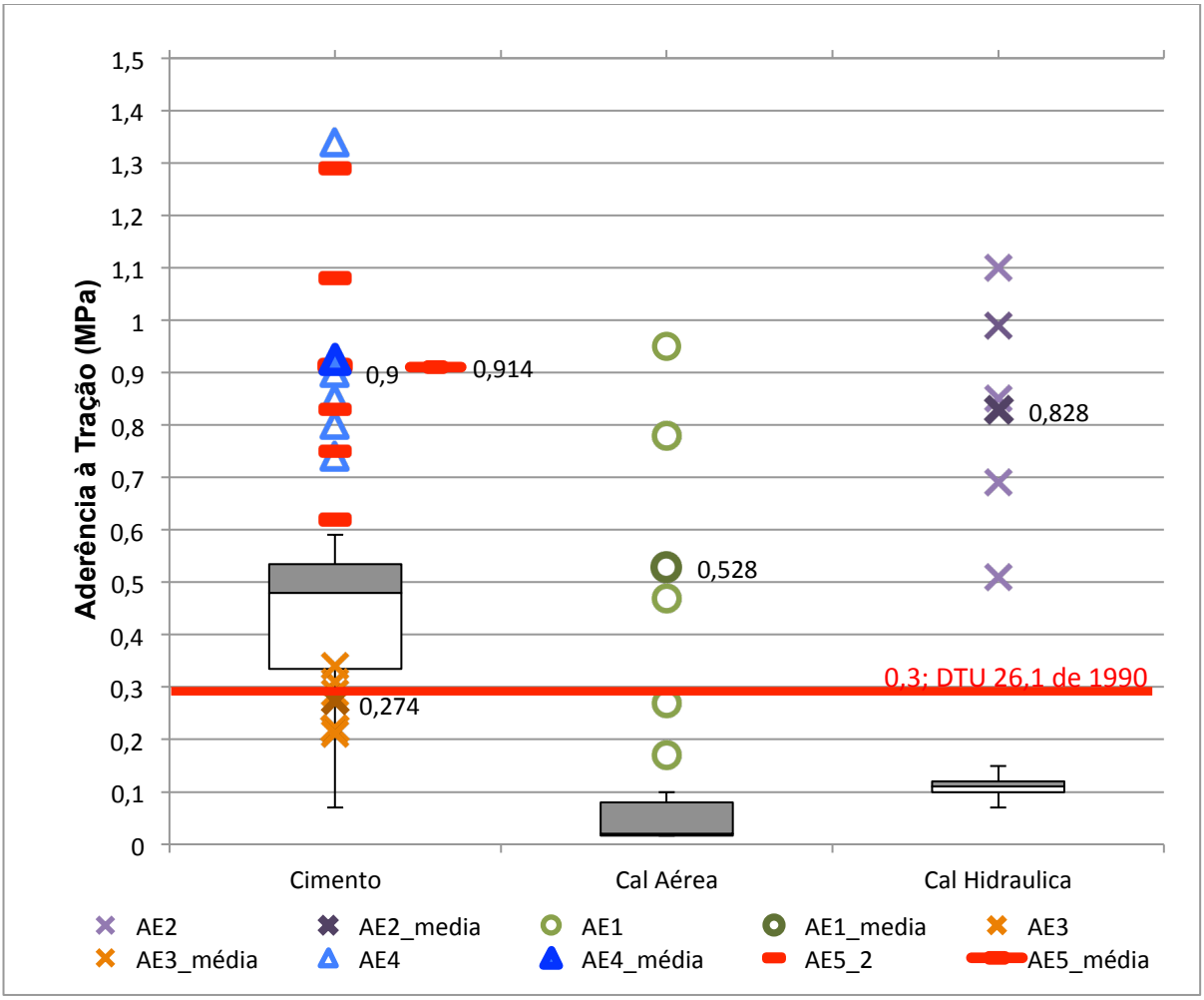


Fig. 43 – Síntese de valores de aderência por tração

Os valores são na maioria das argamassas muito dispersos, exceto no caso de AE3. A dispersão dos resultados é de tal forma significativa que dever-se-ia repetir os ensaios. Na origem desta dispersão podem estar por exemplo erros na utilização do equipamento de ensaio.

O limite de 0,3 MPa imposto pela DTU 26.1 de 1990, (Freitas, Miranda e Teles, 2014), é o único limite que encontrei, não sendo mencionado em legislação mais recente qualquer limite. Para valor limite mínimo de referência considerei então os 0,3 MPa. Os valores no gráfico correspondem à média.

Na figura 43 pode ver-se que apenas a argamassa AE3 fica um pouco aquém do limite que a norma DTU 26.1 de 1990 impõe. No entanto o valor médio está próximo do limite mínimo logo esta argamassa quase que é aceite.

As argamassas de cimento e de cal hidráulica são as que têm maior aderência a seco e as argamassas de cal aérea são as que têm valores mais baixos. Na maior parte dos casos os valores obtidos excederam os valores esperados, como se vê no gráfico.

6.5. VARIAÇÃO DIMENSIONAL

6.5.1. DEFINIÇÃO, CONCEITOS E NORMALIZAÇÃO

Não existe normalização para este ensaio por se tratar de um método experimental desenvolvido no Laboratório de Física das Construções. Consultou-se para a realização do trabalho o documento que de seguida cito, (Machado, 2006)**.**

Com este ensaio pretende-se medir a variação das dimensões de um determinado provete ao longo do tempo.

6.5.2. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras são preparadas com as dimensões de 5x5x5 cm neste caso.

Embora se possam testar provetes com dimensões até 90 mm.

6.5.3. PROCEDIMENTO

As medições são feitas em duas direções perpendiculares.

O ensaio funciona com recurso a um data logger (modelo "Mikromec® Multisens") que regista os valores obtidos a cada segundo, a uns sensores LSC (ou LDS) que permitem medir as variações de comprimento com elevada precisão e de modo contínuo, um computador ao qual está conectado o data logger e onde são registados os valores obtidos pelos sensores, a uns tabuleiros em chapa inox (3mm de espessura) para suporte de sensores e de provetes e a uma balança de precisão.

Os registos no computador são feitos de hora a hora pois entendeu-se que não é necessário um intervalo menor e assim facilita-se a interpretação dos resultados e não se sobrecarrega o sistema.

O deslocamento máximo que o equipamento mede é de 11 mm.

6.5.4. RESULTADOS

Na figura 44 apresentam-se os resultados das variações dimensionais nas duas direções do cubo ao longo do tempo e o cálculo da variação dimensional nas duas direções.

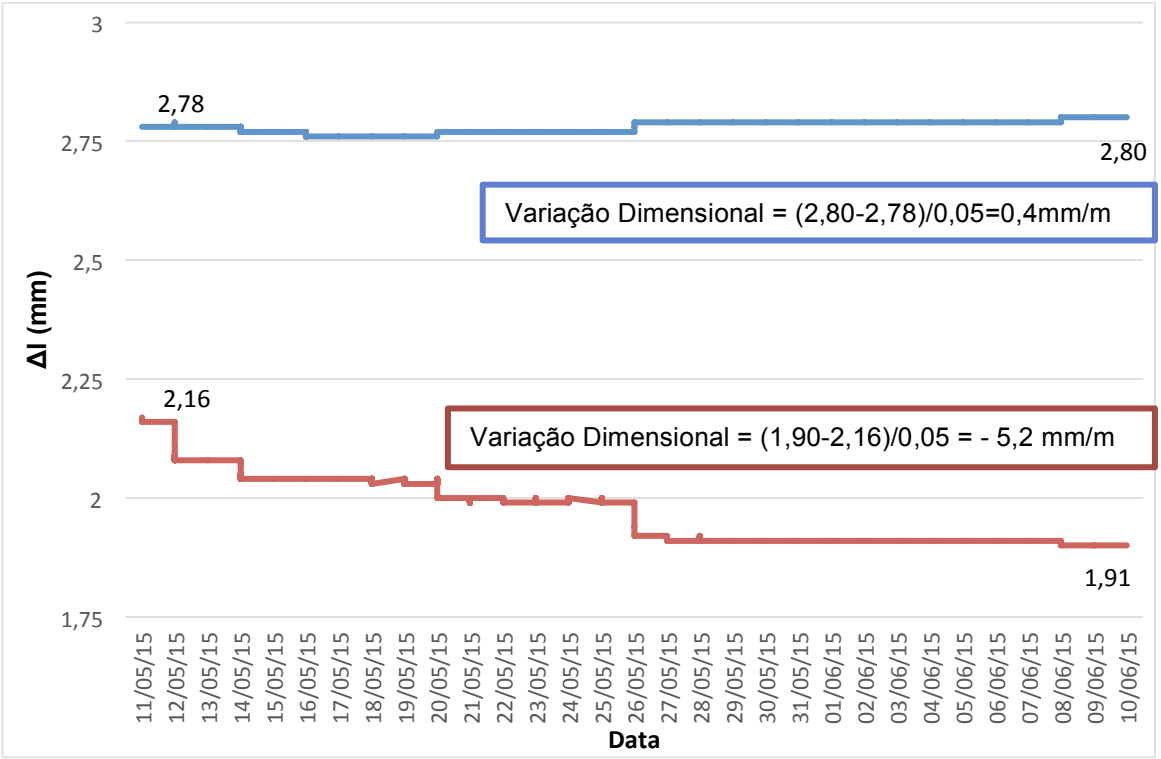


Fig. 44 – Resultados do ensaio de variação dimensional

Como vemos no gráfico da figura 44 a variação dimensional é muito diferente nas duas direções, o que não é espectável pois as argamassas são materiais isotrópicos.

Vemos também no gráfico uns sobressaltos, quase que uns "degraus", que não é suposto existirem. A variação dimensional deve ser mais constante.

A ficha de ensaio encontra-se no anexo A4.

6.5.5. SÍNTESE

Tendo em conta as razões apresentadas acima conclui-se que o ensaio foi inconclusivo e que os resultados obtidos são inválidos. A solução passaria por repetir o ensaio.

6.6. ARGAMASSAS UTILIZADAS EM SISTEMAS ETICS

6.6.1. PROPRIEDADES AVALIADAS

Estas argamassas vêm retratadas num subcapítulo diferente das argamassas de uso dito corrente por estas terem características e utilizações diferentes e não devem ser comparadas com as argamassas anteriormente referidas. Para além disso para estas argamassas não temos bases de dados ou valores de referência que possamos comparar com os valores que se obtiveram nos ensaios daí que esta separação faça sentido.

Para estas argamassas apenas foram avaliados o comportamento destas quanto à absorção de água e a aderência por tração (*pull-off*). Não foram realizadas para estas argamassas ensaios que permitissem determinar a permeabilidade ao vapor de água e a variação dimensional devido à escassez de recursos para a realização destes ensaios.

6.6.2. ADERÊNCIA POR TRAÇÃO (*PULL-OFF*)

Nestas argamassas a espessura utilizada é de apenas 5mm.

A normativa utilizada no ensaio foi a EN 1015-12:2000.

Segundo a norma existem três tipos de rotura, o tipo:

a) Correspondente à rotura entre o suporte e a argamassa (rotura adesiva)
b) Correspondente à rotura na argamassa (rotura coesiva)
c) Correspondente à rotura no suporte (rotura coesiva)

- AD1

No quadro 52 apresentam-se os resultados obtidos para a argamassa AD1.

Quadro 52 – Resultados de ensaio de aderência a seco de AD1

Provete	Número de camadas	Espessura (m)	Força de rotura (KN)	Superfície de rotura (mm²)	Tensão de rotura (MPa)	Tipo de rotura	Tensão média de rotura (MPa)	Diferença máxima relativamente ao valor médio (%)
AD1_1	1	0,005	560,5	1962,5	1,10	b)	1,54	17
AD1_2			917,2		1,80	b)		
AD1_3			718,5		1,41	b)		
AD1_4			820,4		1,61	b)		-28
AD1_5			901,9		1,77	b)		

Esta argamassa tende a romper pela argamassa (rotura coesiva), rompendo para valores de tensão de arrancamento da ordem dos 1,54 MPa.

Existe alguma dispersão nos valores apresentados, no entanto esta não é muito significativa.

- AD2

No quadro 53 apresentam-se os resultados obtidos para a argamassa AD2.

Quadro 53 – Resultados de aderência a seco de AD2

Provete	Número de camadas	Espessura (m)	Força de rotura (KN)	Superfície de rotura (mm²)	Tensão de rotura (MPa)	Tipo de rotura	Tensão média de rotura (MPa)	Diferença máxima relativamente ao valor médio (%)
AD2_1	1	0,005	805,1	1962,5	1,58	c)	1,80	37
AD2_2			718,5		1,41	c)		
AD2_3			1253,3		2,46	c)		
AD2_4			769,4		1,51	b)		-22
AD2_5			1034,4		2,03	c)		

Como podemos no quadro 54 esta argamassa tende a romper pelo suporte (rotura coesiva), rompendo para valores de tensão de arrancamento da ordem dos 1,8 MPa.

Nestes resultados denota-se existe dispersão significativa devido a alguns valores excessivamente altos como os obtidos na amostra AD2_3 e AD2_5, como podemos ver pelos valores da diferença máxima relativamente ao valor médio.

- AD3

No quadro 54 apresentam-se os resultados obtidos para a argamassa AD3.

Quadro 54 – Resultados de aderência a seco de AD3

Provete	Número de camadas	Espessura (m)	Força de rotura (KN)	Superfície de rotura (mm²)	Tensão de rotura (MPa)	Tipo de rotura	Tensão média de rotura (MPa)	Diferença máxima relativamente ao valor médio (%)
AD3_1	1	0,005	417,8	1962,5	0,82	c)	0,6	31
AD3_2			397,5		0,78	c)		
AD3_3			397,5		0,57	c)		
AD3_4			229,3		0,45	c)		-30
AD3_5			433,1		0,85	c)		

Neste caso a rotura dá-se sempre pelo suporte, neste caso tijolo. A tensão necessária a ser aplicada para que ocorra a rotura é da ordem dos 0,6 MPa, tendo-se obtido no entanto uma dispersão de valores considerável.

- **AD4**

No quadro 55 divulgam-se os resultados obtidos no ensaio pull-off para a argamassa AD4.

Quadro 55 – Resultados de aderência a seco de AD4

Provete	Número de camadas	Espessura (m)	Força de rotura (KN)	Superfície de rotura (mm²)	Tensão de rotura (MPa)	Tipo de rotura	Tensão média de rotura (MPa)	Diferença máxima relativamente ao valor médio (%)
AD4_1	1	0,005	1717,2	1962,5	3,37	b)	3,3	9
AD4_2			1457,3		2,86	c)		
AD4_3			1829,3		3,59	c)		
AD4_4			1829,3		3,59	b)		-13
AD4_5			1589,8		3,12	b)		

Neste ensaio a dispersão foi reduzida e a rotura tende a dar-se na argamassa, havendo no entanto dois casos em que esta se deu pelo suporte. Deve-se levar em consideração os dois cenários.

Com uma média de 3,3 MPa esta foi a argamassa com maior valor de aderência e menor dispersão dos valores registados neste projeto.

6.6.3. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO PARCIAL (AW)

Para analisar as argamassas utilizadas ETICS foram preparados provetes de uma argamassa corrente (AE3) sobre os quais se aplica um barramento de 4 mm em uma das extremidades até aproximadamente 40 mm de altura (ver figura 45). O ensaio foi executado de acordo com a norma ISO 15148:2002. Devido a um erro de interpretação da norma só foram efectuados três provetes de cada argamassa em vez dos seis, no entanto esta redução de provetes pode trazer incerteza aos resultados.

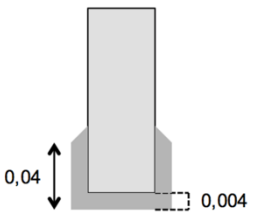


Fig. 45 – Esquema do barramento (metros)

- **AD1**

Na figura 46 expõe-se o gráfico que relaciona a variação da massa por unidade de superfície com a raiz quadrada do tempo despendido para a argamassa AD1.

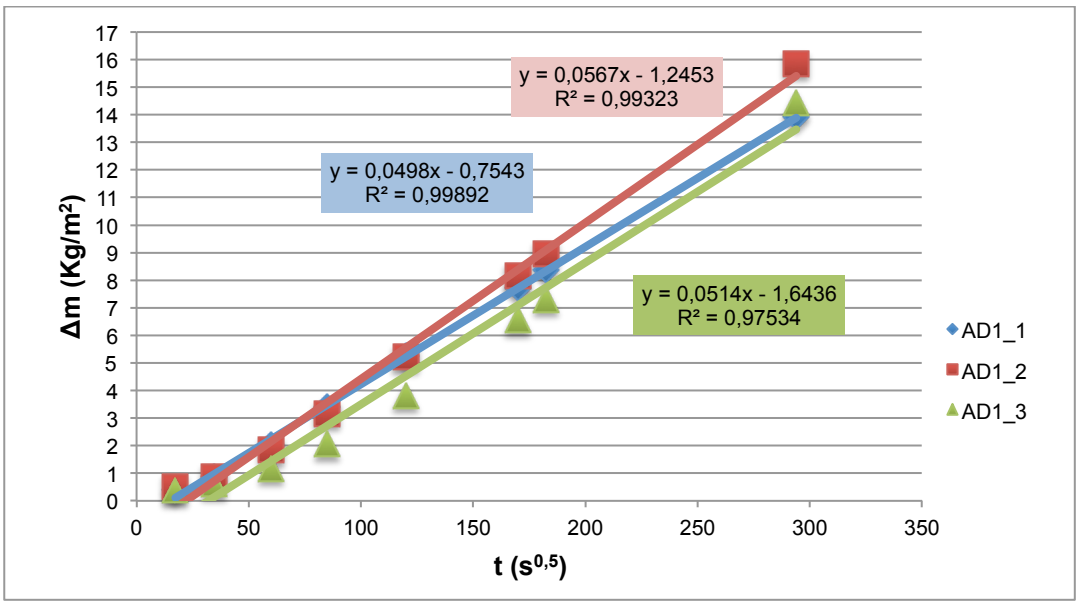


Fig. 46 – Representação gráfico de coeficiente de absorção de água de AD1

O gráfico como podemos ver é do tipo A.

No quadro 56 podemos ver os valores obtidos.

Quadro 56 – Resultados de Aw para AD1

Provete	Aw (Kg/(m^2.s^{0,5}))	Média (Kg/(m^2.s^{0,5}))	Desvio Padrão	Caracterização (DIN 52.617)
AD1_1	4,98 x10^{-2}	5,26 x10^{-2}	0,0036	"Sucção Rápida"
AD1_2	5,67 x10^{-2}			
AD1_3	5,14 x10^{-2}			

O desvio padrão é reduzido havendo pouca dispersão dos valores obtidos.

Sendo assim podemos considerar que provavelmente o Aw desta argamassa rondará os 5,26 x10^{-2} Kg/(m^2.s^{0,5}).

- **AD2**

Para os provetes com o barramento em argamassa AD2, obteve-se o seguinte gráfico.

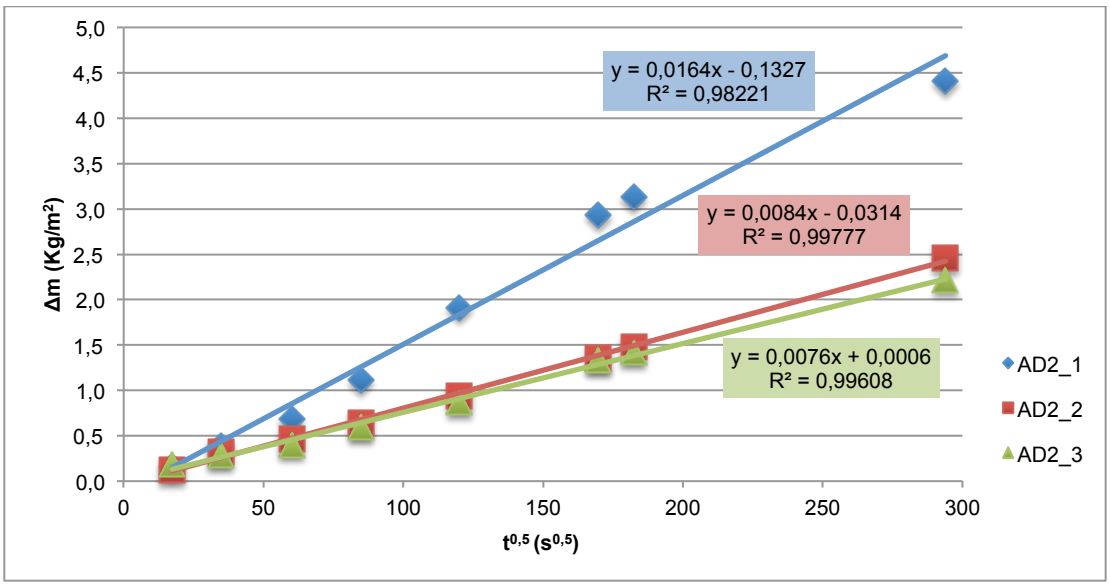


Fig. 47 – Representação gráfica de coeficiente de absorção de água de AD2

O gráfico acima é do tipo A pois a variação da massa ao longo do tempo tende a ser constante.

No quadro 57 temos os resultados obtidos para o coeficiente de capilaridade.

Quadro 57 – Resultados de Aw para AD2

Provete	Aw (Kg/(m^2.s^{0,5}))	Média (Kg/(m^2.s^{0,5}))	Desvio Padrão	Caracterização (DIN 52.617)
AD2_1	1,640 x10^{-2}	1,073 x10^{-2}	0,492	"Preventivo contra a água"
AD2_2	0,819 x10^{-2}			
AD2_3	0,790 x10^{-2}			

O valor obtido para AD2_1, como podemos ver pelo gráfico, distancia-se do valor obtido para os outros 2 provetes (AD2_2 e AD2_3). Sendo assim devemos então admitir que o valor real rondará os 0,8x10^{-2} Kg/(m^2.s^{0,5}).

- **AD3**

Na figura 48 podemos observar as variações mássicas dos provetes revestidos com AD3.

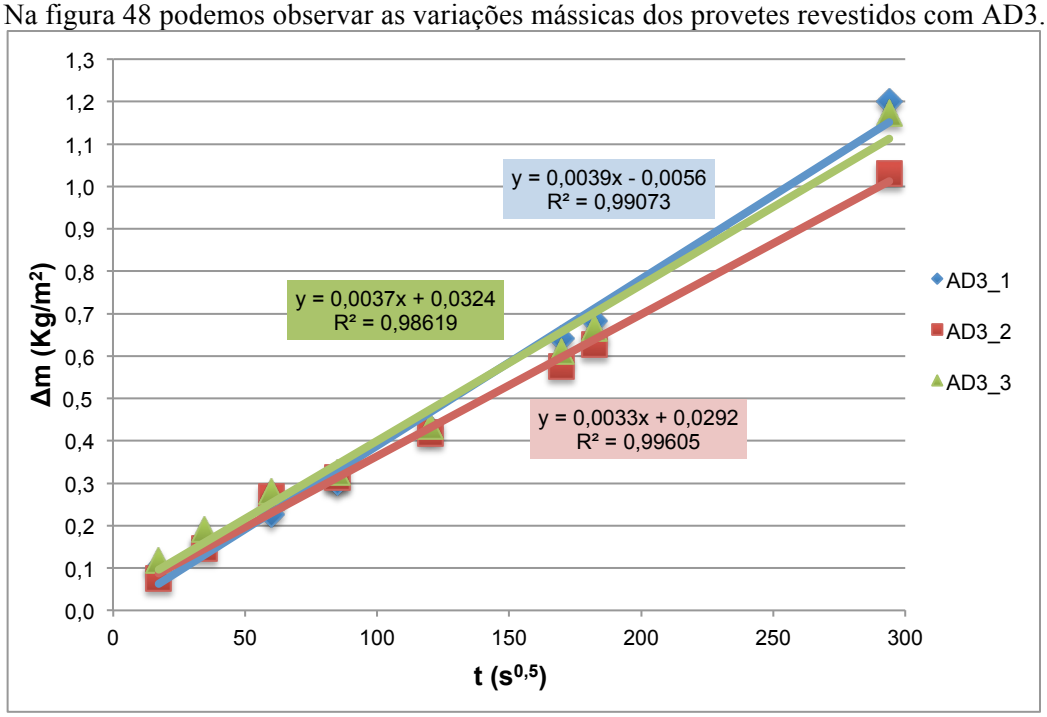


Fig. 48 – Representação gráfica do coeficiente de absorção de água de AD3

O gráfico da figura 48 é do tipo A.

No quadro 58 apresenta-se os resultados obtidos para a argamassa em causa.

Quadro 58 – Resultados de Aw para AD3

Provete	Aw ($Kg/(m^2.s^{0,5})$)	Média ($Kg/(m^2.s^{0,5})$)	Desvio Padrão	Caracterização (DIN 52.617)
AD3_1	$0,39 \times 10^{-2}$	$0,36 \times 10^{-2}$	0,00031	"Quase impermeável"
AD3_2	$0,33 \times 10^{-2}$			
AD3_3	$0,37 \times 10^{-2}$			

O valor de AD3_2 como podemos ver tanto no quadro como no gráfico acima distancia-se um pouco dos valores obtidos para os outros dois provetes. Conclui-se que é provável que o valor de Aw para esta argamassa ronde os $0,36 \times 10^{-2}$ $Kg/(m^2.s^{0,5})$.

- **AD4**

No gráfico seguinte apresenta-se a variação em massa dos provetes ao longo da raiz quadrada do tempo.

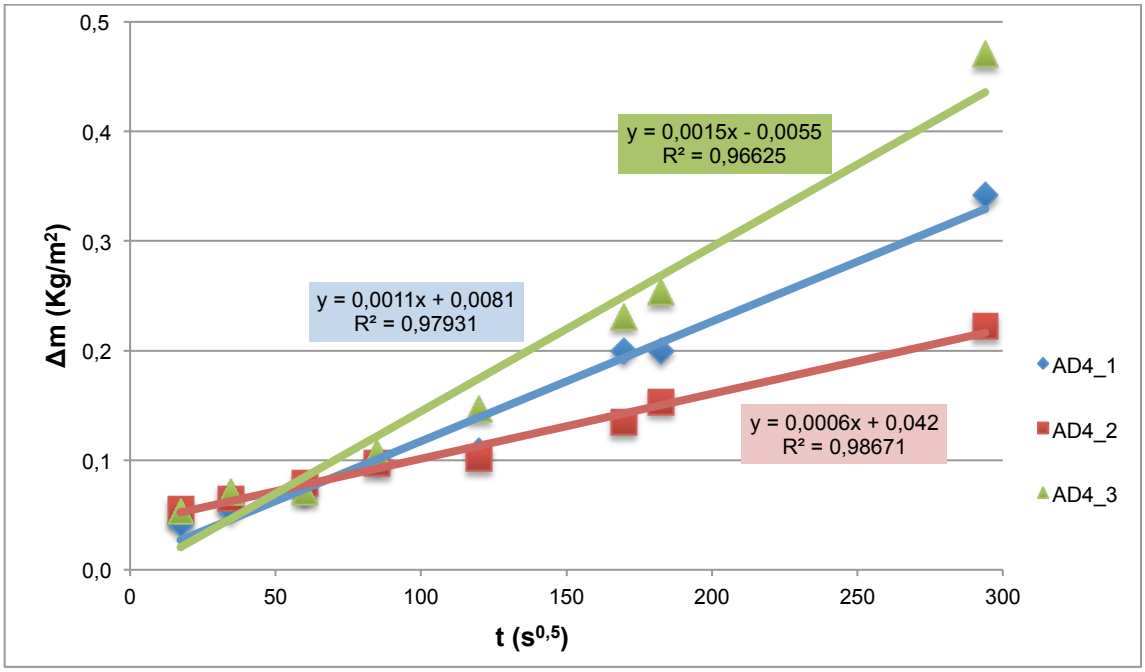


Fig. 49 – Representação gráfica do coeficiente de absorção de água de AD4

O gráfico acima é claramente do tipo A pois as linhas têndencia têm coeficientes de correlação aceitáveis.

No quadro 59 encontra-se os dados extraídos do gráfico acima.

Quadro 59 – Resultados de Aw para AD4

Provete	Aw (Kg/(m^2.s^{0,5}))	Média (Kg/(m^2.s^{0,5}))	Desvio Padrão	Caracterização (DIN 52.617)
AD4_1	1,10 x10^{-2}	0,44 x10^{-2}	0,0058	"Quase impermeável"
AD4_2	0,06 x10^{-2}			
AD4_3	0,15 x10^{-2}			

Neste caso o valor que se distancia um pouco dos dos outros provetes é o AD4_1, podendo este valor elevado ser devido a alguma imperfeição do barramento ou da camada de impermeabilização.

O valor real deste coeficiente deve rondar os 0,10 x10^{-2} Kg/(m^2.s^{0,5}) pois o resultado de AD4_1 é bastante diferente dos obtidos para os outros dois provetes. Esta argamassa segundo a norma alemã é quase impermeável.

6.6.4. SÍNTESE

- Aderência por tração (*pull-off*)

No quadro 60 e nas figuras 50 e 51 mostra-se os resultados obtidos para esta propriedade.

Quadro 60 – Síntese Aderência a seco em argamassas utilizadas em ETICS

Argamassa para ETICS		Aderência Média kg/(m^2.s^{0,5})	Tipo de Rotura
Argamassa Fibrada	AD1	1,5	b) rotura na argamassa
	AD2	1,8	c) rotura no suporte b) rotura na argamassa
Argamassa	AD3	0,7	c) rotura no suporte
	AD4	3,3	b) rotura na argamassa c) rotura no suporte

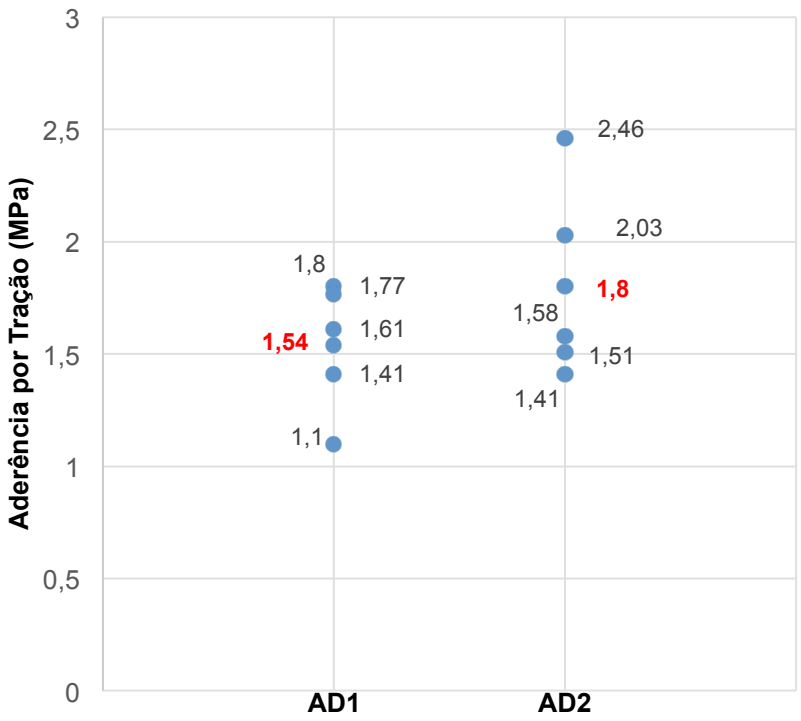


Fig. 50 – Síntese de resultados de ensaio de aderência das argamassas fibradas (AD1 e AD2)

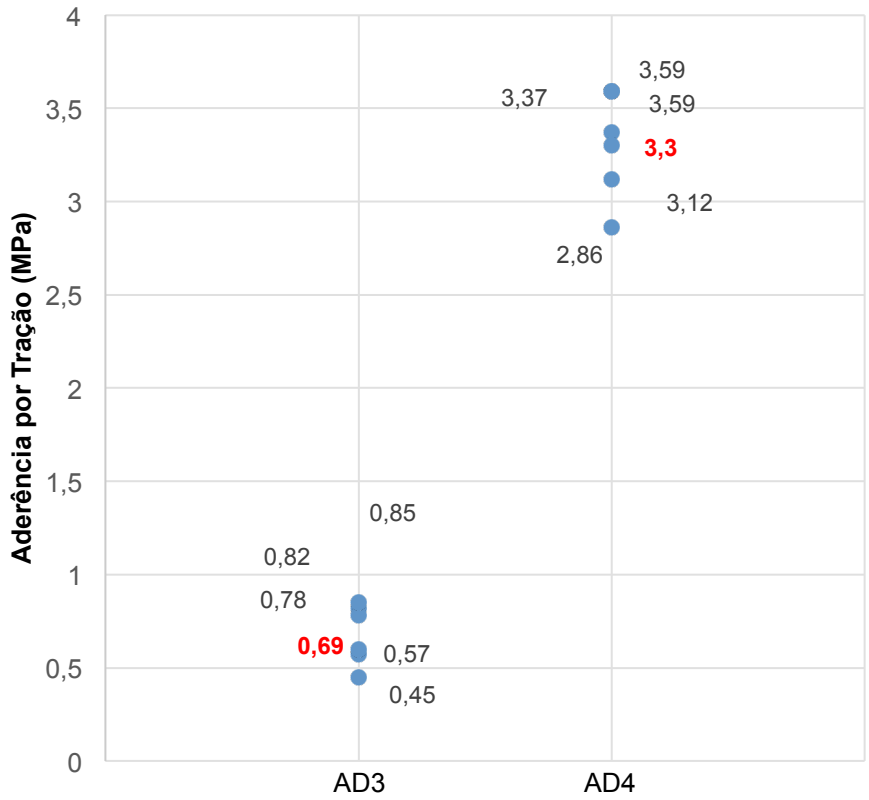


Fig. 51 – Gráfico síntese de resultados de ensaio de aderência das argamassas AD3 e AD4

Nas argamassas fibradas obteve-se valores próximos para as duas argamassas testadas sendo os valores encontrados para AD2 ligeiramente superiores aos obtidos para AD1. No entanto na AD1 a rotura ocorreu pela argamassa, sendo que na argamassa AD2 a rotura ocorre pelo suporte. Quanto às argamassas AD3 e AD4 os valores obtidos neste ensaio foram muito diferentes. A argamassa AD3 rompeu pelo suporte enquanto que AD4 rompeu pela argamassa. Os valores a vermelho representam o valor médio.

- Coeficiente de Capilaridade Aw ($kg/(m^2.s^{0,5})$)

No quadro 61 e figuras 52 e 53 apresentam-se os valores obtidos para o coeficiente de absorção de água das argamassas utilizadas em sistemas de ETICS.

Quadro 61 – Síntese de resultados de coeficiente de absorção de água para argamassas de ETICS

Argamassa para ETICS	Provete	Média $kg/(m^2.s^{0,5})$	Desvio Padrão	Caracterização (DIN 52.617)
Argamassa Fibrada	AD1	$5,26 \times 10^{-2}$	0,0036	"Sucção Rápida"
	AD2	$1,073 \times 10^{-2}$	0,492	"Preventivo contra a água"
Argamassa	AD3	$0,36 \times 10^{-2}$	0,00031	"Quase impermeável"
	AD4	$0,44 \times 10^{-2}$	0,0058	"Quase impermeável"

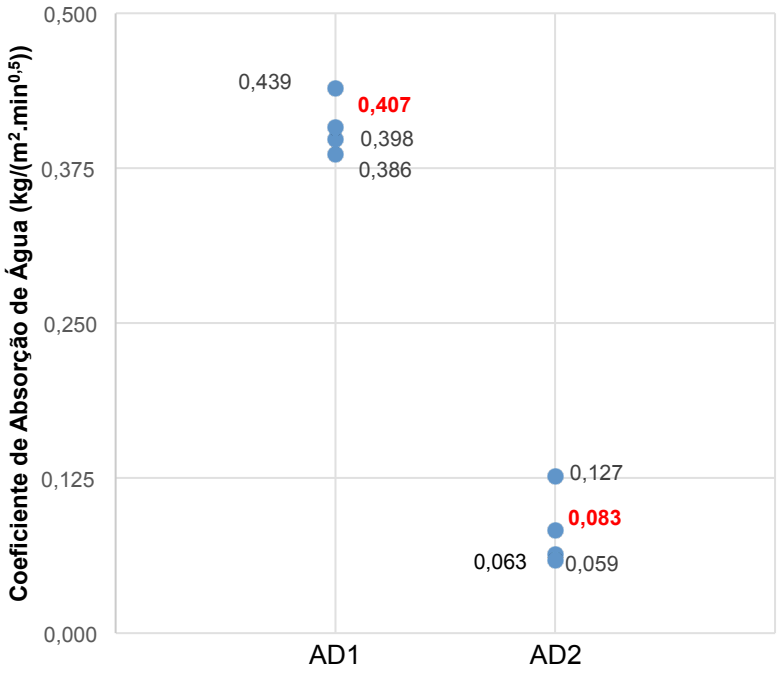


Fig. 52 – Síntese de valores de coeficiente de absorção de água para AD1 e AD2

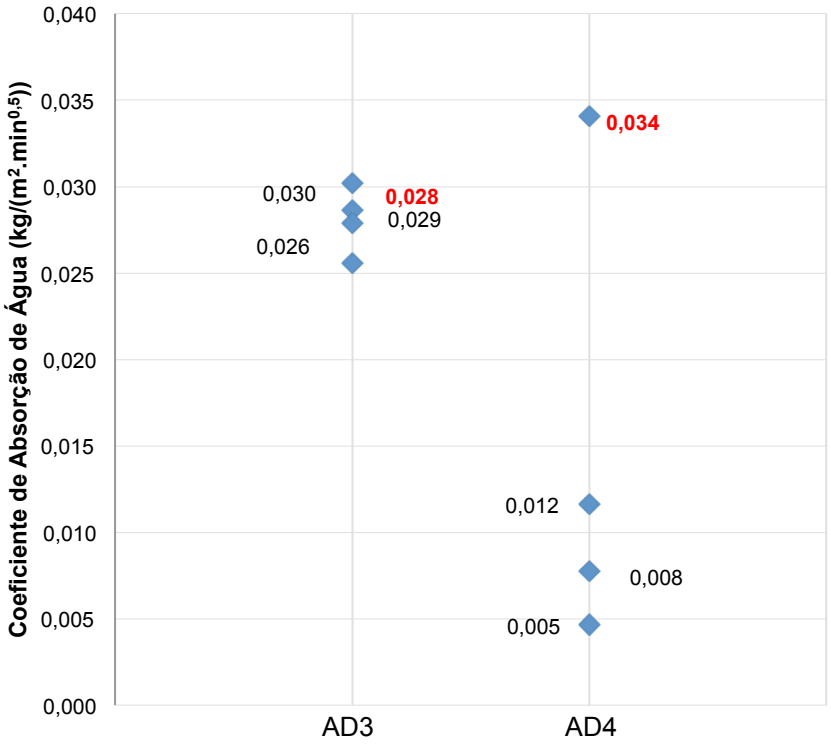


Fig. 53 – Síntese de valores de coeficiente de absorção de água de AD3 e AD4

Os valores a vermelho correspondem ao valor médio.

Das duas argamassas fibradas, AD1 tem um coeficiente de absorção de água superior ao da argamassa AD2. Logo AD1 terá maior apetência para absorver água do que a AD2.

Nas argamassas AD3 e AD4 não se observa uma diferença significativa nos seus coeficientes de absorção de água. A argamassa AD4 existe menor dispersão dos valores enquanto que a argamassa AD4 apresenta menor dispersão. Os valores obtidos para AD3 são ligeiramente superiores aos obtidos para AD4.

A ficha de ensaio encontra-se no anexo A2.

6.7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para que se possa tirar conclusões mais facilmente elaborou-se o quadro 62 que faz uma síntese dos resultados obtidos.

Quadro 62 – Síntese de resultados de ensaios

	AE1	AE2	AE3	AE4	AE5	AD1	AD2	AD3	AD4
Aderência por Tração (MPa)	0,5	0,8	0,3	0,9	0,9	1,5	1,8	0,7	3,3
Coeficiente de Absorção de água por capilaridade ($kg/m^2.min^{0,5}$)	1,483	0,050	0,617	0,107	0,343	0,407	0,083	0,028	0,034
Fator de Resistência ao vapor de água (μ)	9,43	8,44	8,17	11,5	-	-	-	-	-
Variação Dimensional* (mm/m)	1) 0,4 2) - 5,2	-	-	-	-	-	-	-	-

As principais conclusões que se retiram dos resultados são:

- Os valores obtidos pela variação dimensional não deverão ser considerados devido ao ensaio não ter corrido conforme o esperado obtendo-se valores inconsistentes com o comportamento do material em causa.
- As argamassas utilizadas no sistema ETICS têm uma aderência à tração muito maior do que as argamassas correntes.
- A argamassa cimentícia AE4 é a que obteve valores mais elevados para o fator de resistência ao vapor.
- A argamassa AE3 por ter tido um fator de resistência ao vapor mais baixo em comparação com a outra argamassa cimentícia (AE4), baixa aderência e considerável coeficiente de absorção de água leva a pressupor que esta argamassa cimentícia possa ter incorporação de outros materiais nomeadamente de cal aérea. É importante referir que esta é apenas um conjectura pois não temos a composição das argamassas que utilizamos pois temos apenas acesso a uma breve descrição do produto na sua ficha técnica.

No quadro 63 faz-se uma síntese de quais as argamassas que estão dentro dos limites estipulados e quais as que estão conforme a norma para cada propriedade analisada.

Quadro 63 - Quadro síntese que relaciona os limites normativos com os resultados obtidos

	Conforme	Não Conforme
Aderência por Tração (MPa) (DTU 26.1 de 1990)	AE1 AE2 AE4 AE5 AD1 AD2 AD3 AD4	AE3
Fator de resistência ao vapor de água (μ) (NP 998-1:2000)	AE1 AE2 AE3 AE4	-
Coeficiente de absorção de água por capilaridade ($kg/(m^2.min^{0,5})$) (NP 998-1:2000)	AE2 AE4 AE5 AD1 AD2 AD3 AD4	AE1 AE3
Variação Dimensional (mm/m)	-	-

Os valores obtidos para a aderência e para o coeficiente de absorção de água por capilaridade da argamassa AE3 não atingem os limites da norma da propriedade em causa. A argamassa AE1 apenas não está conforme no coeficiente de capilaridade pois tem valores demasiado elevados.

Os valores do ensaio das variações dimensionais não foram analisados pois admitiu-se que estes eram inválidos.

7
Conclusão

7.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este projeto verifiquei que a quantidade de patologias que podemos encontrar nos edificios é considerável.

A bibliografia que consultei demonstrou a dificuldade que existe quando se tenta relacionar o aparecimento de determinada manifestação anómala ou patologia com uma causa única ou no meu caso com as caracteristicas de um determinado elemento.

Existe também uma grande necessidade de obter mais informação sobre as patologias que se manifestam nos nossos edifícios. Este é um trabalho difícil mas já se começou a estudar estes fenómenos e um dia conhecê-los-emos um pouco melhor, na minha opinião.

Quando fiz pesquisa bibliografica sobre os aspectos gerais da argamassa não obtive dificuldades em obter o que pretendi, pois já existe bastante trabalho realizado nesta área.

Na minha pesquisa bibliográfica para obtenção de valores com vista a definir um intervalo para cada uma das propriedades e por tipo de argamassa, encontrei muita informação espalhada em diversos documentos técnicos. Penso que a informação neste aspeto estava muito dispersa daí a importância de se fazer este capitulo do trabalho. Algumas das propriedades foram mais fáceis para encontrar valores do que outras, pois não existe informação detalhada sobre a composição das argamassas pelo que se tentou eliminar esta incerteza através de métodos estatistícos.

Quanto aos resultados experimentais nem todos correram como esperado mas apesar de todos os contratempos acho que este capítulo foi importante para testarmos os intervalos que tínhamos anteriormente definidos e para dar um exemplo de como se pode definir o comportamento de uma argamassa. Não se conseguiu analisar todas as propriedades que se achou aconselhável mas com aquelas que analisámos já conseguimos retirar algumas conclusões interessantes.

Em suma, este trabalho é apenas um início e pretende-se que sirva de inspiração para que mais trabalhos como este sejam realizados no futuro.

7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Menciono opções de desenvolvimento que considero importantes para futuros projectos:

- Continuação do trabalho de pesquisa de modo a conseguir obter intervalos de valores mais precisos para as propriedades das argamassas
- Realização de ensaios para determinação das restantes propriedades das argamassas
- Criação de níveis de qualidade para as argamassas tendo em vista os valores apresentados por cada uma das propriedades analisadas neste projeto;
- Avaliação experimental das mesmas argamassa com diferentes esquemas de pintura

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

acessa.com - [Consult. 12 abr. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.acessa.com/casa/arquivo/eetc/2011/12/17-Revestir-e-impermeabilizar-sao-fundamentais-para-evitar-infiltracao/foto.jpg>.

AGOSTINHO, Cláudia Sofia Araújo - **Estudo da evolução do desempenho no tempo de argamassas de cal aérea**. [S.l.] : Universidade Técnica de Lisboa, 2008

ALMEIDA, José Luís Mesquita Dos Santos Lima De - **ARGAMASSAS TRADICIONAIS E INDUSTRIAIS DE ALVENARIA EM EDIFÍCIOS**. [S.l.] : FEUP, 2010

BENTO, Nuno Ricardo Oliveira Seara - **Responsabilidades , Garantias e Seguros para a Cobertura de Danos na Construção**. [S.l.] : Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2009

DUARTE, Carlos - Argamassas Fabris: Contribuição para a Construção e Reabilitação na Malha Urbana. **APFAC -Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS**. 2007).

casabemfeita.com - [Consult. 12 abr. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://casabemfeita.com/wp-content/uploads/2011/04/como-fazer-revestimento-parede.gif>.

construdeia.com - [Consult. 12 abr. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://construdeia.com/wp-content/gallery/argamassa-para-assentamento/argamassa-para-assentamento-14.jpg>.

encrypted-tbn1.gstatic.com - [Consult. 12 abr. 2015]. Disponível em WWW:<URL:https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSMFoZkRXfhtlvmAVBtS_Mo_mk1xqqalEIegttHC1Va44q_HDcCoQ>.

encrypted-tbn2.gstatic.com - [Em linha] [Consult. 12 abr. 2015]. Disponível em WWW:<URL:https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRAR5wPAsxN9ip7QlFC0Hs9Om-IYzEnyzobGV6CONbfudqD-7bx>.

FARIA, P. *et al.* - Ficha R205 - Argamassas com Base em Cal para a Reabilitação de Rebocos. (2012). .

FARIA, Paulina *et al.* - Argamassas com base em cal para a reabilitação de rebocos. **PATORREB - grupo de estudos de patologias na construção**. R2:2012) 05.

FERREIRA, Micael João Da Encarnação - **Análise de caracteristícas mecânicas de amostras de argamassas pré-doseadas**. [S.l.] : Universidade Técnica de Lisboa, 2012

FREITAS, Vasco Peixoto De; ALVES, Sandro M. - APARECIMENTO DE MANCHAS ESBRANQUIÇADAS NAS JUNTAS DE UMA PAREDE EM ALVENARIA À VISTA. **PATORREB - grupo de estudos de patologias na construção**. [s.d.]) 98.

FREITAS, Vasco Peixoto De; ALVES, Sandro M. - Parede Exterior - Instabilidade e Expansão Higrotérmica DESTACAMENTO DO REVESTIMENTO REBOCADO E PINTADO JUNTO AOS CUNHAIS DA FACHADA. **PATORREB - grupo de estudos de patologias na construção**. [s.d.]).

FREITAS, Vasco Peixoto De; ALVES, Sandro M. - Parede Exterior - Termoforese APARECIMENTO DE MANCHAS EM FACHADAS DESCRIÇÃO DA PATOLOGIA. **PATORREB - grupo de estudos de patologias na construção**. [s.d.]) 96.

FREITAS, Vasco Peixoto De; ALVES, Sandro M. - Parede Exterior - Deficiente Aplicação APARECIMENTO DE FANTASMAS EM FACHADAS COM REVESTIMENTO MONOMASSA DESCRIÇÃO DA PATOLOGIA. **PATORREB - grupo de estudos de patologias na construção**. 95:[s.d.]).

FREITAS, Vasco Peixoto De; MIRANDA, Andreia Mota - Patologias de Sistemas de Isolamento Térmico pelo Exterior do Tipo ETICS. **APFAC -Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS**. Porto. 2014).

FREITAS, Vasco Peixoto De; MIRANDA, Andreia Mota; GONÇALVES, Pedro - FISSURAÇÃO DO REBOCO DO SISTEMA ETICS NOS CANTOS DOS VÃOS. **PATORREB - grupo de estudos de patologias na construção**. 101:[s.d.]).

FREITAS, Vasco Peixoto De; MIRANDA, Andreia Mota; TELES, Madalena - Especificação Exigencial de Argamassas para Revestimento Exterior de Fachadas. **Argamassas 2014 - Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento**. 2014).

FREITAS, Vasco Peixoto De; SOUSA, Marilía - Manchas Associadas ao Desenvolvimento de Microorganismos no sistema ETICS. **PATORREB - grupo de estudos de patologias na construção**.

forumdacasa.com - [Consult. 12 abr. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://forumdacasa.com/extensions/InlineImages/ximage.php,qAttachmentID=42156.pagespeed.ic.1lL0HGKDB0.jpg>.

GONZALEZ, Teresa Diaz; RODRIGUES, José Delgado - Rebocos para Paredes Antigas Afetadas por Sais Solúveis: Patologia, Princípios de Funcionamento e Adequabilidade. **LNEC**. Sais Solúv:2006).

intlimg.demandmedia.com - [Consult. 12 abr. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://intlimg.demandmedia.com/DM-Resize/photos.demandstudios.com/44/123/fotolia_1751312_XS.jpg?w=400&h=200&keep_ratio=1>.

INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE - NP EN 998-1 «Especificação de argamassas para alvenarias Parte 1: Argamassas para rebocos interiores e exteriores». 2010).

MACHADO, Nuno Cláudio De Carvalho Mendes - **Variação Dimensional Da Madeira Devida Ao Seu Comportamento Higroscópico**. [S.l.] : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006

MARGALHA, Maria Goreti - **Argamassas**. [S.l.] : Universidade de Évora, [s.d.]

MARTINS, Ana Isabel Guerreiro - **A Influência das condições de cura em argamassas de cais aéreas com e sem adição de metacaulino**. [S.l.] : Instituto Politécnicode Setúbal, 2010

MERGULHÃO, Duarte Nuno Franco Henriques - **Argamassas de cal aérea e metacaulino, influência do traço, da cura maritima e da idade**. [S.l.] : Universidade Nova de Lisboa, 2014

NENO, Catarina Jesus Freire - **Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos provenientes da trituração do betão**. [S.l.] : Universidade Técnica de Lisboa, 2010

nortecola.com.br - [Consult. 12 abr. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.nortecola.com.br/images/img4.gif>.

OBSERVATOIRE DE LA QUALITÉ DE LA CONSTRUCTION - Pathologie: TOP 10 (extrait). **Sycodés**. 2014) 8.

PÁSCOA, Sofia Neno - **Índice de secagem como parâmetro em serviço dos rebocos aplicados em paredes exteriores**. [S.l.] : Universidade Técnica de Lisboa, 2012

PAULO, Raquel Sofia V. M. Nascimento - **Caracterização de Argamassas Industriais**. [S.l.] : Universidade de Aveiro, 2006

PENAS, Filipa Ezequiel - **Argamasss de Cal Hidráulica para Revestimentos de Paredes**. [S.l.] : Universidade Técnica de Lisboa, 2008

RATO, Vasco Nunes Da Ponte Moreira - **Influência da Microestrutura Morfológica no Comportamento de Argamassas**. [S.l.] : Universidade Nova de Lisboa, 2006

RATO, Vasco Nunes Da Ponte Moreira; HENRIQUES, Fernando M. A. - Argamassas Correntes: Influência do Tipo de Ligante e do Agregado. Lisboa. 2007).

RODRIGUES, Maria Paulina Santos Forte De Faria - **Argamassas de Revestimento para Alvenarias Antigas - Contribuição para o estudo da influência dos ligantes**. [S.l.] : Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2004

RODRIGUES, Paulina Faria; FERNANDO M. A. HENRIQUES - Subprodutos Industriais como Componentes Pozolânicos em Argamassas de Cal Aérea. **PATORREB - grupo de estudos de patologias na construção**. 2006).

secilargamassas.pt - [Consult. 12 abr. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.secilargamassas.pt/media/produtos/elem_media/35.original.jpg>.

SOUSA, Marilía Margarida Ferreira De - **Patologia da Construção - Elaboração de um Catálogo**. [S.l.] : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004

static.habitissimo.com.br - [Consult. 12 abr. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://static.habitissimo.com.br/photos/quotation/big/dscn8557-268393_268393.jpg>.

VEIGA, Maria Do Rosário Da Silva - **Comportamento de Argamassas de Revestimento de Paredes, Contribuição para o estudo da sua Resistência à Fendilhação**. [S.l.] : LNEC, FEUP, 1998

VEIGA, Maria Do Rosário Da Silva - Argamassas para revestimentos de paredes de edifícios antigos. Caracterização e campo de aplicação de algumas formulações correntes. **Actas do 3ºENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edificios**. Lisboa. 2003).

WILINZIG, Markus; POSSER, Natália Dilda - Influência de diferentes argamassas na difusão do vapor de tintas. 2005).

ANEXOS

A 1 – FICHAS DE ENSAIO DE ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DE FATOR DE RESISTÊNCIA AO VAPOR DE ÁGUA (μ)

Argamassas testadas

- AE1 (Cal Aérea) (BH_AE1)
- AE2 (Cal Hidráulica) (BH_AE2)
- AE3 (Cimentícia) (BH_AE3)
- AE4 (Cimentícia) (BH_AE4)

FICHA DE ENSAIO **BH_AE1**

IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO

Determinação das propriedades de transmissão de vapor de água de argamassa de revestimento de fachadas

REFERÊNCIAS NORMATIVAS

EN ISO 12572 – Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water vapour transmission properties

IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO

Nome:

Sistema de duas argamassas de reboco exterior de cal aérea AE1.

Método de Preparação dos Provetes:

A amostragem foi efectuada pela entidade requisitante.

Dimensões dos Provetes:

0,210 m × 0,210 m × 0,015 m

EQUIPAMENTO UTILIZADO

Câmara climática:

Marca/Modelo: Vötsh VC 4034

Controle de temperatura: -40 °C ≤ *T* ≤ 180 °C – flutuação no tempo < ± 0,3 °C

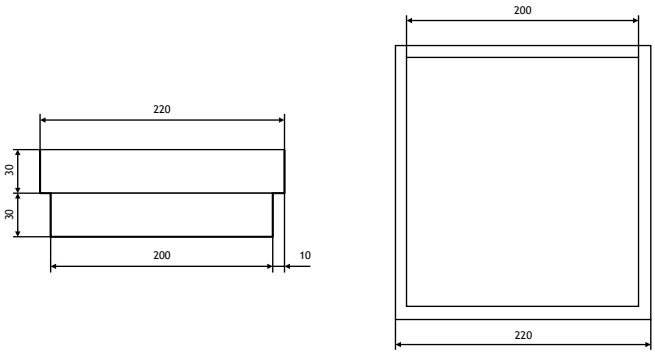
Controle de humidade: 10 % ≤ *HR* ≤ 98 % - flutuação no tempo < ± 3%

Balança:

Marca/Modelo: Sartorius BP 3100 S

Precisão: 0,01 g

Tinas de ensaio – Material: inox



Medidas em milímetros

PROCESSO DE ENSAIO – MÉTODO DA TINA HÚMIDA

Condicionamento Inicial:

Temperatura: (23 ± 0,3) °C

Humidade Relativa: (50 ± 3) %

Critério de paragem: 5 pesagens diárias consecutivas com diferenças inferiores a 5 % do valor médio.

Preparação do Ensaio:

Preparação da substância condicionadora a colocar na tina:

— Substância condicionadora: Água;

— A água é colocada na tina de ensaio até uma altura de 1,5 cm;

— Selagem do provete com parafina;

— Registo da massa inicial do conjunto;

— Colocação na câmara climática.

Condições do Ensaio:

Temperatura no Interior da Tina: (23 ± 0,3) °C

Humidade Relativa no Interior da Tina: (93 ± 3) %

Temperatura no Interior da Câmara: (23 ± 0,3) °C

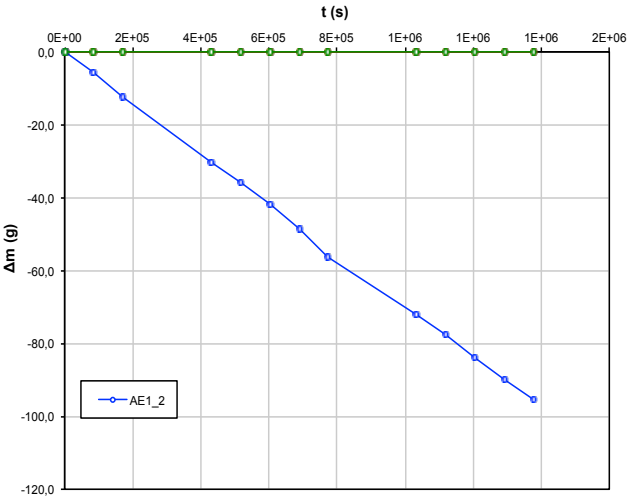
Humidade Relativa no Interior da Câmara: (50 ± 3) %

Intervalos de tempo das pesagens: (24 – 72) horas

RESULTADOS

Pesagens

Data	Hora	*t* (s)	Δ*t* (s)	*m* (g)		
					AE1_2	
20/05/15	09:50	0			2527,2	
21/05/15	08:50	82800	82800		2521,4	
22/05/15	09:00	169800	87000		2514,7	
25/05/15	09:07	429420	259620		2496,9	
26/05/15	09:21	516660	87240		2491,4	
27/05/15	09:05	602100	85440		2485,6	
28/05/15	10:00	691800	89700		2478,8	
29/05/15	08:50	774000	82200		2471,1	
01/06/15	08:55	1033500	259500		2455,0	
02/06/15	08:38	1118880	85380		2449,5	
03/06/15	08:42	1205520	86640		2443,33	
04/06/15	08:35	1291500	85980		2437,33	
05/06/15	09:05	1379700	88200		2431,7	



PROPRIEDADES DE TRANSMISSÃO DE VAPOR DE ÁGUA	-	**AE1_2**	-	Média	Desvio Padrão
Fluxo *G* [kg/s] Regressão linear de seis pesagens onde a maior percentagem de diferença face à média das cinco variações de massa correspondentes é inferior a 5%	-	6,78E-08	-	6,78E-08	-
Densidade de fluxo *g* [kg/(m²·s)] $g = \frac{G}{A}\frac{1}{c_{le}}$	-	1,45E-06	-	1,45E-06	-
Permeância *W* [kg/(m²·s·Pa)] $W = \frac{1}{\frac{A c_{le} \Delta p_v}{G} - \frac{1}{67+90v} - \frac{d_a}{\delta_a}}$	-	1,32E-09	-	1,32E-09	-
Permeabilidade *δ* [kg/(m·s·Pa)] $\delta = W d$	-	1,98E-11	-	1,98E-11	-
Factor de resistência à difusão *μ* [-] $\mu = \frac{\delta_a}{\delta}$	-	9,62E+00	-	9,62E+00	-
Espessura da camada de ar de difusão equivalente s_d [m] $s_d = \mu d$	-	0,14	-	1,44E-01	-

Expressões auxiliares: $\delta_a = \frac{2{,}61 \times 10^{-5}}{461{,}4 \times (T + 273{,}16)}$ $\quad p_{sat} = 610{,}5 \phi e^{\frac{17{,}269T}{237{,}3+T}}$

Simbologia adicional:

A	m²	Área do provete
b	m	Largura do "efeito do lado escondido"
d	m	Espessura média da amostra
S	m	Diâmetro hidráulico da amostra
T	°C	Temperatura
v	m/s	Velocidade do ar sobre a amostra
δ_a	kg/(m·s·Pa)	Permeabilidade ao vapor de água do ar
Δp_v	Pa	Pressão de vapor de água que passa através da amostra

FICHA DE ENSAIO **BH_AE2**

IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO

Determinação das propriedades de transmissão de vapor de água de argamassa de revestimento de fachadas

REFERÊNCIAS NORMATIVAS

EN ISO 12572 – Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water vapour transmission properties

IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO

Nome:

Sistema de duas argamassas de reboco exterior de cal hidráulica AE2.

Método de Preparação dos Provetes:

A amostragem foi efectuada pela entidade requisitante.

Dimensões dos Provetes:

0,210 m × 0,210 m × 0,015 m

EQUIPAMENTO UTILIZADO

Câmara climática:

Marca/Modelo: Vötsh VC 4034

Controle de temperatura: -40 °C ≤ *T* ≤ 180 °C – flutuação no tempo < ± 0,3 °C

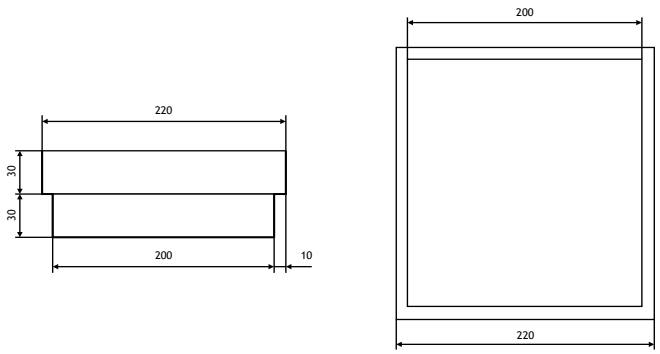
Controle de humidade: 10 % ≤ *HR* ≤ 98 % - flutuação no tempo < ± 3%

Balança:

Marca/Modelo: Sartorius BP 3100 S

Precisão: 0,01 g

Tinas de ensaio – Material: inox



Medidas em milímetros

PROCESSO DE ENSAIO – MÉTODO DA TINA HÚMIDA

Condicionamento Inicial:

Temperatura: (23 ± 0,3) °C

Humidade Relativa: (50 ± 3) %

Critério de paragem: 5 pesagens diárias consecutivas com diferenças inferiores a 5 % do valor médio.

Preparação do Ensaio:

Preparação da substância condicionadora a colocar na tina:

— Substância condicionadora: Água;

— A água é colocada na tina de ensaio até uma altura de 1,5 cm;

— Selagem do provete com parafina;

— Registo da massa inicial do conjunto;

— Colocação na câmara climática.

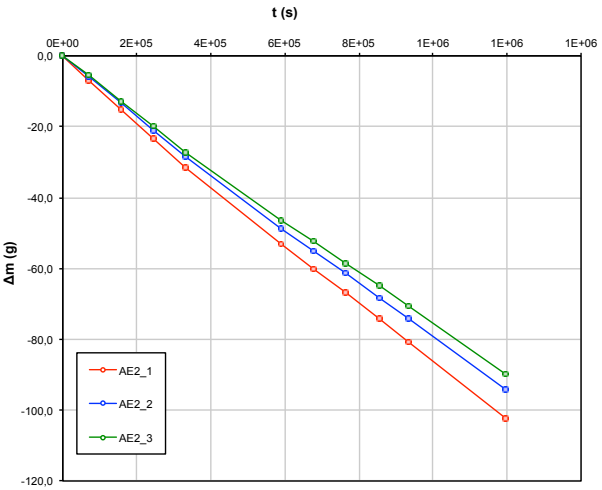
Condições do Ensaio:

Temperatura no Interior da Tina: (23 ± 0,3) °C
Humidade Relativa no Interior da Tina: (93 ± 3) %
Temperatura no Interior da Câmara: (23 ± 0,3) °C
Humidade Relativa no Interior da Câmara: (50 ± 3) %
Intervalos de tempo das pesagens: (24 – 72) horas

RESULTADOS

Pesagens

Data	Hora	*t* (s)	Δ*t* (s)	*m* (g)		
				AE2_1	AE2_2	AE2_3
18/05/15	13:00	0		2449,3	2407,0	2395,1
19/05/15	08:50	71400	71400	2442,4	2401,3	2389,8
20/05/15	08:50	157800	86400	2434,1	2393,6	2382,4
21/05/15	08:45	243900	86100	2426,1	2386,0	2375,1
22/05/15	09:00	331200	87300	2417,9	2378,4	2367,8
25/05/15	09:05	590700	259500	2396,2	2358,3	2348,7
26/05/15	09:20	678000	87300	2389,3	2351,9	2342,6
27/05/15	09:00	763200	85200	2382,5	2345,6	2336,6
28/05/15	10:05	853500	90300	2375,2	2338,8	2330,2
29/05/15	08:55	935700	82200	2368,6	2332,8	2324,3
01/06/15	08:55	1194900	259200	2347,15	2312,90	2305,34



PROPRIEDADES DE TRANSMISSÃO DE VAPOR DE ÁGUA	AE2_1	AE2_2	AE2_3	Média	Desvio Padrão
Fluxo *G* [kg/s] Regressão linear de seis pesagens onde a maior percentagem de diferença face à média das cinco variações de massa correspondentes é inferior a 5%	8,13E-08	7,53E-08	7,17E-08	7,61E-08	4,87E-09
Densidade de fluxo *g* [kg/(m²·s)] $g = \frac{G}{A}\frac{1}{c_{le}}$	1,74E-06	1,61E-06	1,55E-06	1,63E-06	9,86E-08
Permeância *W* [kg/(m²·s·Pa)] $W = \frac{1}{\frac{A c_{le} \Delta p_v}{G} - \frac{1}{67+90v} - \frac{d_a}{\delta_a}}$	1,63E-09	1,49E-09	1,43E-09	1,51E-09	1,02E-10
Permeabilidade *δ* [kg/(m·s·Pa)] $\delta = W d$	2,44E-11	2,23E-11	2,14E-11	2,27E-11	1,54E-12
Factor de resistência à difusão *μ* [-] $\mu = \frac{\delta_a}{\delta}$	7,83E+00	8,56E+00	8,93E+00	8,44E+00	5,59E-01
Espessura da camada de ar de difusão equivalente s_d [m] $s_d = \mu d$	0,12	0,13	0,13	0,13	8,38E-03

Expressões auxiliares:

$$\delta_a = \frac{2{,}61 \times 10^{-5}}{461{,}4 \times (T + 273{,}16)} \qquad p_{sat} = 610{,}5\phi e^{\frac{17{,}269T}{237{,}3+T}}$$

Simbologia adicional:

A	m²	Área do provete
b	m	Largura do "efeito do lado escondido"
d	m	Espessura média da amostra
S	m	Diâmetro hidráulico da amostra
T	°C	Temperatura
v	m/s	Velocidade do ar sobre a amostra
δ_a	kg/(m·s·Pa)	Permeabilidade ao vapor de água do ar
Δp_v	Pa	Pressão de vapor de água que passa através da amostra
φ	-	Humidade relativa

FICHA DE ENSAIO **BH_AE3**

IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO

Determinação das propriedades de transmissão de vapor de água de argamassa de revestimento de fachadas

REFERÊNCIAS NORMATIVAS

EN ISO 12572 – Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water vapour transmission properties

IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO

Nome:

Argamassa de reboco exterior cimenticia AE3.

Método de Preparação dos Provetes:

A amostragem foi efectuada pela entidade requisitante.

Dimensões dos Provetes:

0,210 m × 0,210 m × 0,015 m

EQUIPAMENTO UTILIZADO

Câmara climática:

Marca/Modelo: Vötsh VC 4034

Controle de temperatura: -40 °C ≤ *T* ≤ 180 °C – flutuação no tempo < ± 0,3 °C

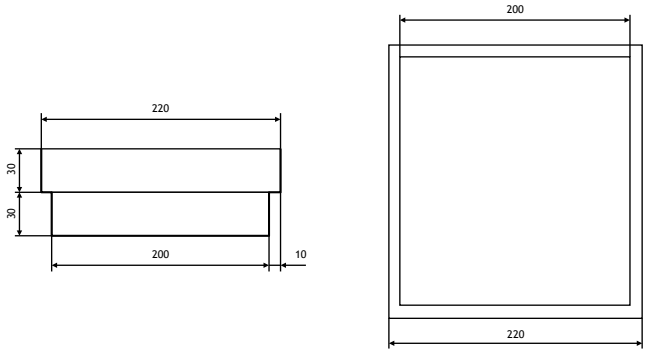
Controle de humidade: 10 % ≤ *HR* ≤ 98 % - flutuação no tempo < ± 3%

Balança:

Marca/Modelo: Sartorius BP 3100 S

Precisão: 0,01 g

Tinas de ensaio – Material: inox



Medidas em milímetros

PROCESSO DE ENSAIO – MÉTODO DA TINA HÚMIDA

Condicionamento Inicial:

Temperatura: (23 ± 0,3) °C
Humidade Relativa: (50 ± 3) %
Critério de paragem: 5 pesagens diárias consecutivas com diferenças inferiores a 5 % do valor médio.

Preparação do Ensaio:

Preparação da substância condicionadora a colocar na tina:
— Substância condicionadora: Água;
— A água é colocada na tina de ensaio até uma altura de 1,5 cm;
— Selagem do provete com parafina;
— Registo da massa inicial do conjunto;
— Colocação na câmara climática.

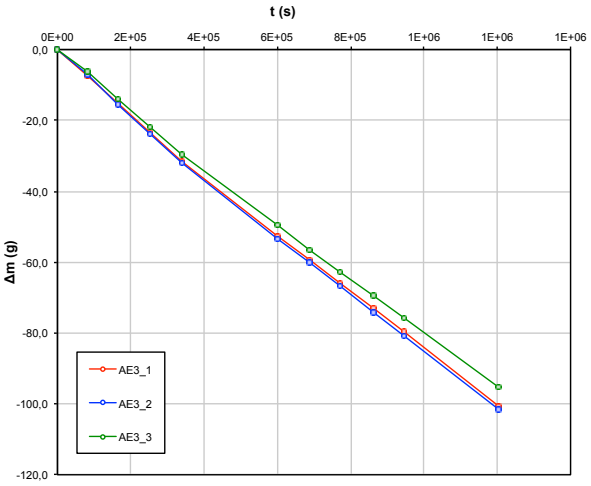
Condições do Ensaio:

Temperatura no Interior da Tina: (23 ± 0,3) °C
Humidade Relativa no Interior da Tina: (93 ± 3) %
Temperatura no Interior da Câmara: (23 ± 0,3) °C
Humidade Relativa no Interior da Câmara: (50 ± 3) %
Intervalos de tempo das pesagens: (24 – 72) horas

RESULTADOS

Pesagens

Data	Hora	*t* (s)	Δ*t* (s)	*m* (g)		
				AE3_1	AE3_2	AE3_3
18/05/15	10:30	0		2512,4	2611,8	2566,8
19/05/15	08:45	80100	80100	2505,3	2604,9	2560,5
20/05/15	08:45	166500	86400	2497,1	2596,2	2552,9
21/05/15	08:40	252600	86100	2489,0	2588,0	2544,9
22/05/15	08:55	339900	87300	2481,0	2579,8	2537,2
25/05/15	09:05	599700	259800	2460,0	2558,2	2517,1
26/05/15	09:20	687000	87300	2453,2	2551,6	2510,3
27/05/15	09:05	772500	85500	2446,5	2545,0	2503,9
28/05/15	10:05	862500	90000	2439,4	2537,7	2497,3
29/05/15	08:55	944700	82200	2432,8	2531,2	2491,2
01/06/15	08:55	1203900	259200	2411,85	2510,21	2471,47



PROPRIEDADES DE TRANSMISSÃO DE VAPOR DE ÁGUA	AE3_1	AE3_2	AE3_3	Média	Desvio Padrão
Fluxo *G* [kg/s] Regressão linear de seis pesagens onde a maior percentagem de diferença face à média das cinco variações de massa correspondentes é inferior a 5%	7,97E-08	7,96E-08	7,53E-08	7,82E-08	2,50E-09
Densidade de fluxo *g* [kg/(m²·s)] $g = \frac{G}{A}\frac{1}{c_{le}}$	1,71E-06	1,70E-06	1,63E-06	1,68E-06	4,43E-08
Permeância *W* [kg/(m²·s·Pa)] $W = \frac{1}{\frac{A c_{le} \Delta p_v}{G} - \frac{1}{67+90v} - \frac{d_a}{\delta_a}}$	1,59E-09	1,58E-09	1,51E-09	1,56E-09	4,61E-11
Permeabilidade *δ* [kg/(m·s·Pa)] $\delta = W d$	2,38E-11	2,37E-11	2,26E-11	2,34E-11	6,91E-13
Factor de resistência à difusão *μ* [-] $\mu = \frac{\delta_a}{\delta}$	8,01E+00	8,05E+00	8,45E+00	8,17E+00	2,46E-01
Espessura da camada de ar de difusão equivalente s_d [m] $s_d = \mu d$	0,12	0,12	0,13	0,12	3,69E-03

Expressões auxiliares:

$$\delta_a = \frac{2{,}61 \times 10^{-5}}{461{,}4 \times (T + 273{,}16)} \qquad p_{sat} = 610{,}5\,\phi e^{\frac{17{,}269T}{237{,}3+T}}$$

Simbologia adicional:

A	m²	Área do provete
b	m	Largura do "efeito do lado escondido"
d	m	Espessura média da amostra
S	m	Diâmetro hidráulico da amostra
T	°C	Temperatura
v	m/s	Velocidade do ar sobre a amostra
δ_a	kg/(m·s·Pa)	Permeabilidade ao vapor de água do ar
Δp_v	Pa	Pressão de vapor de água que passa através da amostra
φ	-	Humidade relativa

FICHA DE ENSAIO **BH_AE4**

IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO

Determinação das propriedades de transmissão de vapor de água de argamassa de revestimento de fachadas

REFERÊNCIAS NORMATIVAS

EN ISO 12572 – Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water vapour transmission properties

IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO

Nome:

Argamassa de reboco exterior cimenticia AE4.

Método de Preparação dos Provetes:

A amostragem foi efectuada pela entidade requisitante.

Dimensões dos Provetes:

0,210 m × 0,210 m × 0,015 m

EQUIPAMENTO UTILIZADO

Câmara climática:

Marca/Modelo: Vötsh VC 4034

Controle de temperatura: -40 °C ≤ *T* ≤ 180 °C – flutuação no tempo < ± 0,3 °C

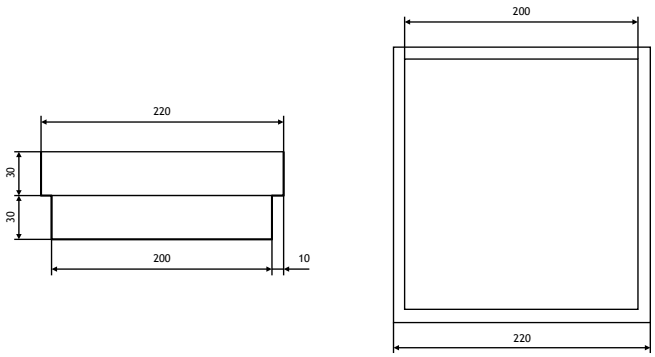
Controle de humidade: 10 % ≤ *HR* ≤ 98 % - flutuação no tempo < ± 3%

Balança:

Marca/Modelo: Sartorius BP 3100 S

Precisão: 0,01 g

Tinas de ensaio – Material: inox



Medidas em milímetros

PROCESSO DE ENSAIO – MÉTODO DA TINA HÚMIDA

Condicionamento Inicial:

Temperatura: (23 ± 0,3) °C

Humidade Relativa: (50 ± 3) %

Critério de paragem: 5 pesagens diárias consecutivas com diferenças inferiores a 5 % do valor médio.

Preparação do Ensaio:

Preparação da substância condicionadora a colocar na tina:

— Substância condicionadora: Água;

— A água é colocada na tina de ensaio até uma altura de 1,5 cm;

— Selagem do provete com parafina;

— Registo da massa inicial do conjunto;

— Colocação na câmara climática.

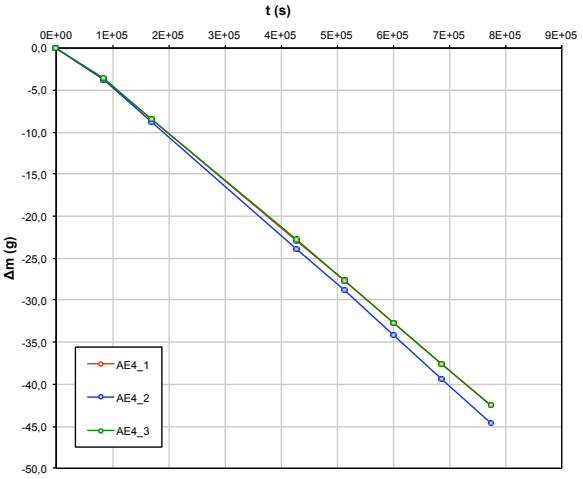
Condições do Ensaio:

Temperatura no Interior da Tina: (23 ± 0,3) °C
Humidade Relativa no Interior da Tina: (93 ± 3) %
Temperatura no Interior da Câmara: (23 ± 0,3) °C
Humidade Relativa no Interior da Câmara: (50 ± 3) %
Intervalos de tempo das pesagens: (24 – 72) horas

RESULTADOS

Pesagens

Data	Hora	*t* (s)	Δ*t* (s)	*m* (g)		
				AE4_1	AE4_2	AE4_3
13/05/15	10:00	0		2722,7	2744,9	2459,5
14/05/15	09:30	84600	84600	2719,0	2741,2	2456,0
15/05/15	09:00	169200	84600	2714,2	2736,1	2451,1
18/05/15	08:45	427500	258300	2699,8	2721,1	2436,7
19/05/15	08:35	513300	85800	2695,0	2716,0	2431,9
20/05/15	08:40	600000	86700	2690,1	2710,7	2426,9
21/05/15	08:35	686100	86100	2685,2	2705,5	2422,0
22/05/15	08:45	773100	87000	2680,2	2700,3	2417,0



PROPRIEDADES DE TRANSMISSÃO DE VAPOR DE ÁGUA	AE4_1	AE4_2	AE4_3	Média	Desvio Padrão
Fluxo *G* [kg/s] Regressão linear de seis pesagens onde a maior percentagem de diferença face à média das cinco variações de massa correspondentes é inferior a 5%	5,60E-08	5,90E-08	5,64E-08	5,71E-08	1,62E-09
Densidade de fluxo *g* [kg/(m²·s)]	1,20E-06	1,26E-06	1,22E-06	1,23E-06	3,10E-08
Permeância *W* [kg/(m²·s·Pa)] $W = \frac{1}{\frac{A c_{le} \Delta p_v}{G} - \frac{1}{67+90v} - \frac{d_a}{\delta_a}}$	1,08E-09	1,14E-09	1,09E-09	1,10E-09	3,03E-11
Permeabilidade *δ* [kg/(m·s·Pa)] $\delta = W d$	1,62E-11	1,70E-11	1,64E-11	1,65E-11	4,55E-13
Factor de resistência à difusão *μ* [-] $\mu = \frac{\delta_a}{\delta}$	1,18E+01	1,12E+01	1,16E+01	1,15E+01	3,14E-01
Espessura da camada de ar de difusão equivalente s_d [m] $s_d = \mu d$	0,18	0,17	0,17	1,73E-01	4,71E-03

Expressões auxiliares:

$$\delta_a = \frac{2{,}61 \times 10^{-5}}{461{,}4 \times (T + 273{,}16)} \qquad p_{sat} = 610{,}5 \phi e^{\frac{17{,}269T}{237{,}3+T}}$$

Simbologia adicional:

A	m²	Área do provete
b	m	Largura do "efeito do lado escondido"
d	m	Espessura média da amostra
S	m	Diâmetro hidráulico da amostra
T	°C	Temperatura
v	m/s	Velocidade do ar sobre a amostra
δ_a	kg/(m·s·Pa)	Permeabilidade ao vapor de água do ar
Δp_v	Pa	Pressão de vapor de água que passa através da amostra
φ	-	Humidade relativa

A 2 – FICHA DE ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÀGUA POR IMERSÃO PARCIAL

Argamassas correntes

AE1 (Cal Aérea)

AE2 (Cal Hidráulica)

AE3 (Cimentícia)

AE4 (Cimentícia)

AE5 (Cimentícia)

Argamassas utilizadas em ETICS

AD1

AD2

AD3

AD4

FICHA DE ENSAIO	ABSORÇÃO

IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO

Determinação do coeficiente de absorção de água (A_w) por imersão parcial

REFERÊNCIAS NORMATIVAS

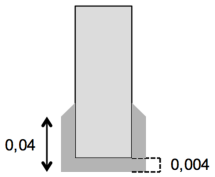
EN ISO 15148 – Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water absorption coefficient by partial immersion (2002)

IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO

Nome: Argamassas para revestimentos exteriores de fachadas (AE1, AE2, AE3, AE4, AE5, AD1, AD2, AD3, AD4)

Método de preparação dos provetes:

-Argamassas preparadas consoante indicações do fornecedor;
-Argamassas colocadas em moldes de forma a adquirir as dimensões requeridas;
-No caso das argamassas AE1 e AE2 como se tratam de um sistema constituído por duas camadas de argamassas diferentes fez-se o interior será em argamassa de enchimento e o provete será igual aos outros provetes que não têm barramento.
-No caso das argamassas de ETICS, analogamente ao realizado para AE1 e AE2, é feito um barramento com a argamassa para ETICS que queremos analisar sendo que o interior neste caso seria de uma outra argamassa (utilizou-se AE3).
O barramento, nos dois casos, é colocado segundo o esquema seguinte.

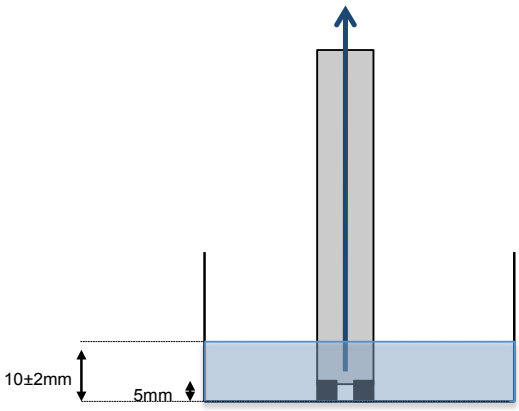


-Quando endurecidas, aos 28 dias, as faces maiores da amostra foram revestidas com material impermeabilizante (tinta e-poxy)

Dimensões dos provetes:
(0,04x0,04x0,20) m

EQUIPAMENTO UTILIZADO

- Balança:
Marca/Modelo: *Precisa 800*
Precisão: 0,001 g
- Tanque de ensaio
- Apoios para a amostra



O esquema acima tenta representar a disposição do provete e o demais equipamento ao longo do ensaio e a seta representada o fluxo de ascensão da água no provete.

PROCESSO DE ENSAIO

Condicionamento Inicial:

Temperatura: (23±2) ºC
Humidade Relativa: (50±5)%

Preparação do Ensaio:

-Preparação da argamassa conforme as indicações do fabricante;
-Coloca-se a argamassa nos moldes;

Condições de Ensaio:

Temperatura: 23±2 ºC
Humidade: 45±5%
As argamassas são testadas aos 28 dias de idade.

RESULTADOS

Em primeiro lugar temos de calcular qual a área da base do provete. Para este ensaio só se contabiliza a área da base pois as faces laterais que também estão em contacto com a água foram previamente impermeabilizadas.
As tabelas seguintes contêm informação sobre as dimensões da superfície em contacto com a água de cada provete.

Argamassas correntes

Provete	Lado 1 (m)	Lado 2 (m)	Área (m^2)
AE1_1	0,046	0,045	0,00221
AE1_2	0,045	0,046	0,00230
AE1_3	0,045	0,044	0,00226
AE2_1	0,046	0,048	0,00207
AE2_2	0,047	0,049	0,00207
AE2_3	0,047	0,048	0,00198
AE3_1	0,039	0,041	0,00160
AE3_2	0,040	0,041	0,00164
AE3_3	0,040	0,041	0,00164
AE4_1	0,040	0,040	0,00160
AE4_2	0,040	0,041	0,00164
AE4_3	0,041	0,040	0,00164
AE5_1	0,039	0,041	0,00160
AE5_2	0,041	0,040	0,00164
AE5_3	0,041	0,040	0,00164

Argamassas utilizadas em ETICS

Provete	Lado 1 (m)	Lado 2 (m)	Área (m^2)
AD1_1	0,045	0,050	0,002250
AD1_2	0,042	0,046	0,001932
AD1_3	0,045	0,046	0,002070
AD2_1	0,046	0,043	0,001978
AD2_2	0,045	0,043	0,001935
AD2_3	0,045	0,045	0,002025
AD3_1	0,045	0,042	0,001890
AD3_2	0,045	0,044	0,001980
AD3_3	0,045	0,043	0,001935
AD4_1	0,050	0,048	0,002400
AD4_2	0,048	0,045	0,002160
AD4_3	0,049	0,046	0,002254

De seguida apresentam-se as tabelas com a variação em massa dos provetes durante o ensaio.

t (min)	t (s)	$\sqrt{t}$ ($s^{0,5}$)	Δm (Kg/m^2)					
			AE1_1	AE1_2	AE1_3	AE2_1	AE2_2	AE2_3
5	300	17,32	3,72	3,25	4,34	0,18	0,21	0,26
20	1200	34,64	7,01	6,08	7,57	0,26	0,23	0,35
60	3600	60,00	12,58	11,01	13,13	0,34	0,32	0,50
120	7200	84,85	17,99	15,85	18,38	0,43	0,47	0,69
310*	18600	136,38	26,06	25,16	28,50	0,70	0,82	1,06
480	28800	169,71	-	31,30	35,02	0,92	1,07	1,31
555	33300	182,48	-	33,30	37,11	0,98	1,14	1,40
1440	86400	293,94	-	-	-	1,74	1,97	2,28

*A pesagem foi feita aos 310 minutos em vez de aos 240 minutos devido a condições alheias à entidade executante do ensaio e que impediu a entrada no laboratório desta aos 240 minutos.
Nos três provetes de AE1 verificou-se o aparecimento de água na face superior do provete, por isso, segundo a norma deixou de se registar após esse acontecimento. no caso de AE1_1 esse acontecimento ocorreu mais cedo pois apenas tinha 11 centímetros de altura devido a uma quebra na desmoldagem do provete.

t (min)	t (s)	$\sqrt{t}$ ($s^{0,5}$)	Δm (Kg/m^2)								
			AE3_1	AE3_2	AE3_3	AE4_1	AE4_2	AE4_3	AE5_1	AE5_2	AE5_3
5	300	17,32	1,93	1,94	2,11	0,42	0,43	0,41	0,96	1,10	1,02
20	1200	34,64	3,34	3,43	3,62	0,65	0,66	0,59	1,74	1,97	1,73
60	3600	60,00	5,51	5,70	5,99	1,04	1,02	0,86	3,03	3,52	2,96
120	7200	84,85	7,57	7,80	8,15	1,42	1,35	1,15	4,15	4,88	3,99
240	14400	120,00	10,36	10,71	11,18	1,97	1,85	1,50	5,74	6,81	5,54
480	28800	169,71	14,15	14,63	15,29	2,77	2,57	2,07	7,86	9,32	7,63
555	33300	182,48	15,10	15,64	16,32	2,99	2,74	2,21	8,37	9,90	8,10
1440	86400	293,94	22,97	23,93	24,89	4,80	4,35	3,50	12,44	14,80	12,23

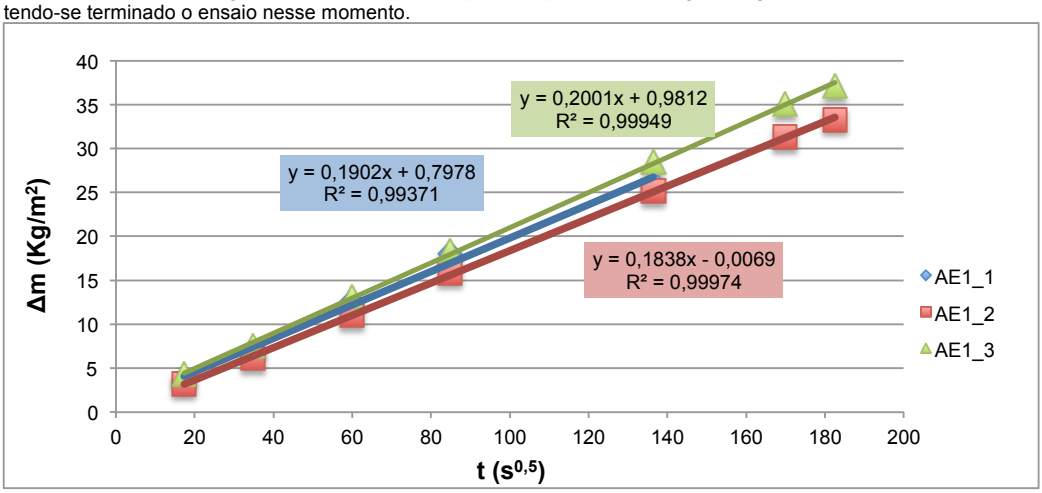
t (min)	t (s)	$\sqrt{t}$ ($s^{0,5}$)	Δm (Kg/m^2)					
			AD1_1	AD1_2	AD1_3	AD2_1	AD2_2	AD2_3
5	300	17,32	0,409	0,523	0,382	0,16	0,12	0,18
20	1200	34,64	0,858	0,875	0,618	0,39	0,33	0,29
60	3600	60,00	2,022	1,837	1,169	0,69	0,47	0,40
120	7200	84,85	3,391	3,168	2,058	1,11	0,64	0,60
240	14400	120,00	5,262	5,207	3,821	1,91	0,94	0,86
480	28800	169,71	7,724	8,147	6,551	2,93	1,36	1,33
555	33300	182,48	8,373	8,970	7,309	3,13	1,48	1,42
1440	86400	293,94	13,902	15,870	14,454	4,41	2,47	2,22

t (min)	t (s)	$\sqrt{t}$ ($s^{0,5}$)	Δm (Kg/m^2)					
			AD3_1	AD3_2	AD3_3	AD4_1	AD4_2	AD4_3
5	300	17,32	0,101	0,076	0,119	0,042	0,056	0,053
20	1200	34,64	0,164	0,146	0,191	0,054	0,065	0,071
60	3600	60,00	0,228	0,228	0,279	0,071	0,079	0,071
120	7200	84,85	0,302	0,302	0,326	0,100	0,097	0,106
240	14400	120,00	0,429	0,419	0,434	0,108	0,102	0,146
480	28800	169,71	0,640	0,576	0,610	0,200	0,134	0,231
555	33300	182,48	0,683	0,626	0,667	0,200	0,153	0,253
1440	86400	293,94	1,201	1,030	1,173	0,342	0,222	0,470

RESULTADOS

AE1 – (ARGAMASSA DE CAL AÉREA)

Os três provetes desta argamassa são AE1_1, AE1_2 e AE1_3. Em AE1 a água chegou ao topo dos provetes, tendo-se terminado o ensaio nesse momento.



AE1_1

O provete AE1_1 apenas tem 11 centímetros de altura pois partiu-se devido ao retirar do molde.

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,1902x + 0,7978

Ordenada na origem ($\Delta m'0$): y = 0,7978 kg/m^2

Sendo, neste caso, $t_f^{0,5}$= 136,38 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 26,737 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(26,737-0,7978)}{136,38} = 0,1902$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 19,02 x10^{-2} kg/(m^2.s^{0,5})

AE1_2

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,1838x - 0,0069

Ordenada na origem ($\Delta m'0$): y = - 0,0069 kg/m^2

Sendo $t_f^{0,5}$= 182,48 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 33,533 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(33,533-(-0,0069))}{182,48} = 0,1838$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 18,38 x10^{-2} kg/(m^2.s^{0,5})

AE1_3

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,2001x + 0,9812

Ordenada na origem ($\Delta m'0$): y = 0,9812 kg/m^2

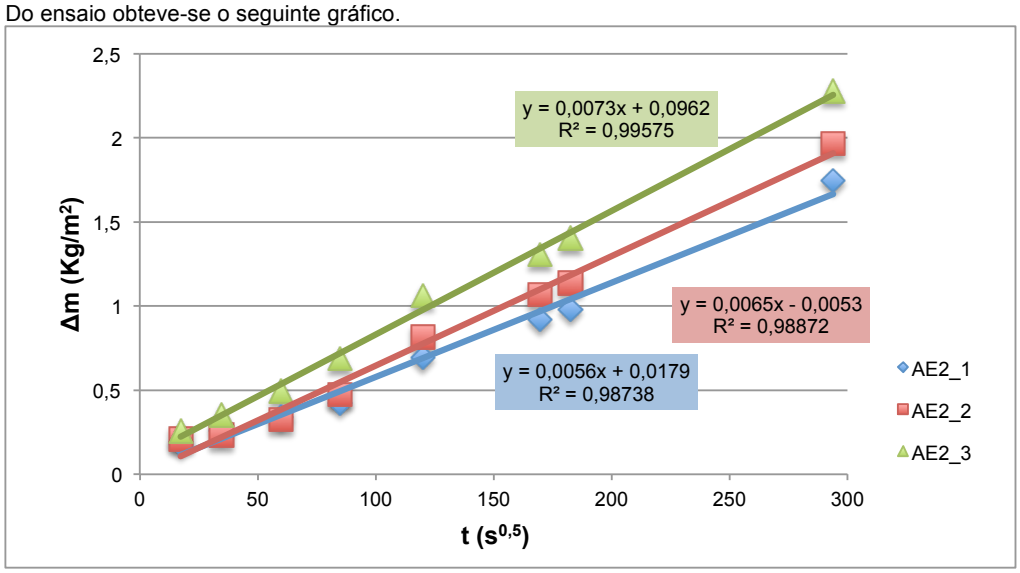
Sendo $t_f^{0,5}$= 182,48 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 37,495 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(37,495-0,9812)}{182,48} = 0,2001$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 20,01 x10^{-2} kg/(m^2.s^{0,5})

AE2 - (ARGAMASSA DE CAL HIDRÁULICA)

Do ensaio obteve-se o seguinte gráfico.



AE2_1

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0056x + 0,0179

Ordenada na origem ($\Delta m'0$): y = 0,0179 kg/m^2

Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 1,664 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(1,664-0,0179)}{293,94} = 0,0056$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 0,56 x10^{-2} kg/(m^2.s^{0,5})

AE2_2

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0065x - 0,0053

Ordenada na origem ($\Delta m'0$): y = - 0,0053 kg/m^2

Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 1,905 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(1,905-(-0,0053))}{293,94} = 0,0065$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 0,65 x10^{-2} kg/(m^2.s^{0,5})

AE2_3

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0073x + 0,0962

Ordenada na origem ($\Delta m'0$): y = 0,0962 kg/m^2

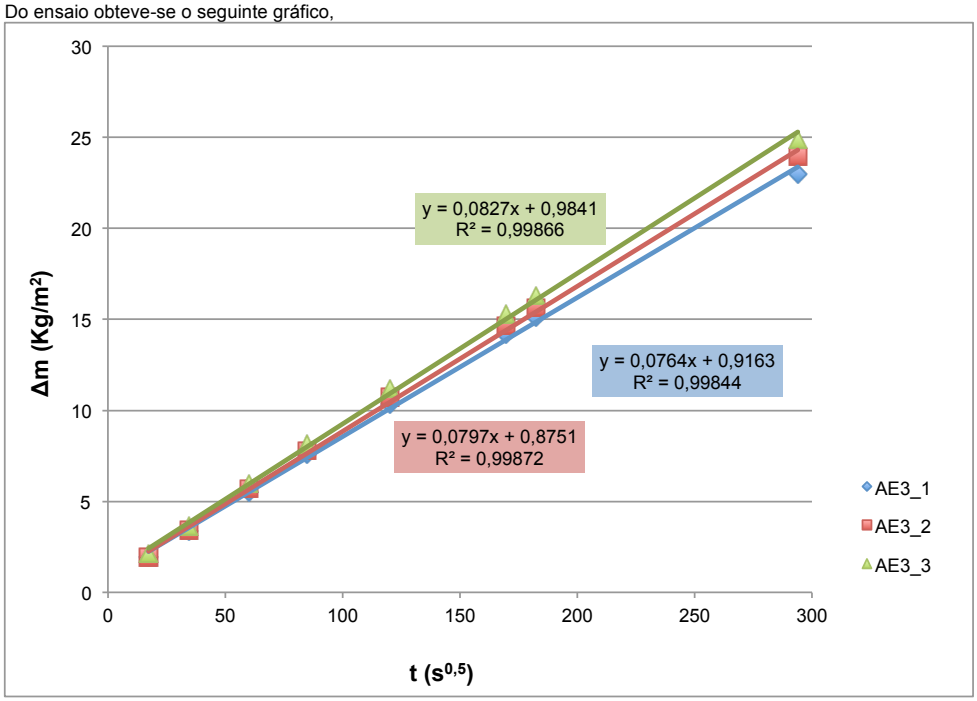
Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 2,242 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(2,242-0,0962)}{293,94} = 0,0073$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 0,73 x10^{-2} kg/(m^2.s^{0,5})

AE3 - (ARGAMASSA CIMENTÍCIA)

Do ensaio obteve-se o seguinte gráfico,



AE3_1

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0764x + 0,9163

Ordenada na origem ($\Delta m'0$): y = 0,9163 kg/m^2

Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 23,373 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(23,373-0,9163)}{293,94} = 0,0764$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 7,64 x10^{-2} kg/(m^2.s^{0,5})

AE3_2

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0797x + 0,8751

Ordenada na origem ($\Delta m'0$): y = 0,8751 kg/m^2

Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 24,302 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(24,302-0,8751)}{293,94} = 0,0797$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 7,97 x10^{-2} kg/(m^2.s^{0,5})

AE3_3

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0827x + 0,9841

Ordenada na origem ($\Delta m'0$): y = 0,9841 kg/m^2

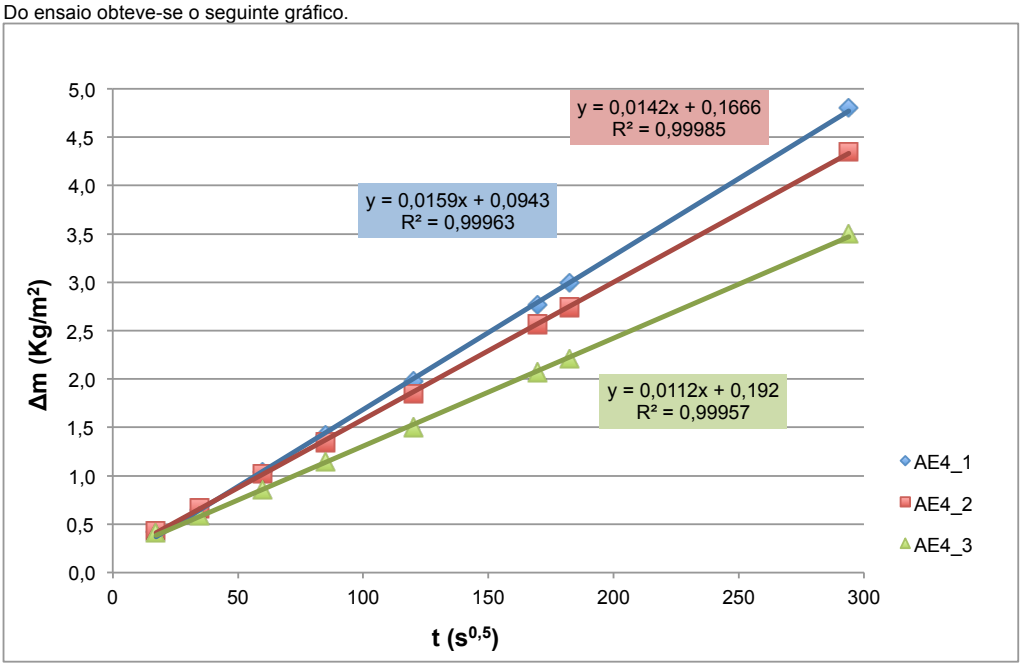
Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 25,293 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(25,293-0,9841)}{293,94} = 0,0827$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 8,27 x10^{-2} kg/(m^2.s^{0,5})

AE4 - (ARGAMASSA CIMENTÍCIA)

Do ensaio obteve-se o seguinte gráfico.



AE4_1

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0159x + 0,0943

Ordenada na origem ($\Delta m'0$): y = 0,0943 kg/m^2

Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 4,768 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(4,768-0,0943)}{293,94} = 0,0159$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 1,59 x10^{-2} kg/(m^2.s^{0,5})

AE4_2

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0142x + 0,1666

Ordenada na origem ($\Delta m'0$): y = 0,1666 kg/m^2

Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 4,341 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(4,341-0,1666)}{293,94} = 0,0142$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 1,42 x10^{-2} kg/(m^2.s^{0,5})

AE4_3

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0112x + 0,192

Ordenada na origem ($\Delta m'0$): y = 0,1920 kg/m^2

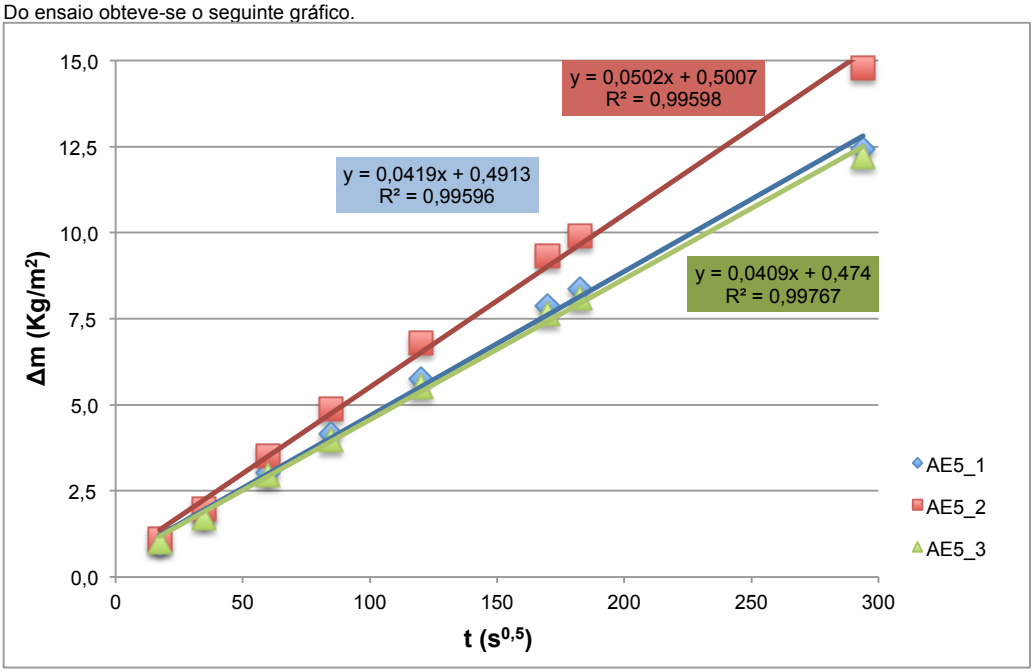
Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 3,484 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(3,484-0,1920)}{293,94} = 0,0112$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 1,12 x10^{-2} kg/(m^2.s^{0,5})

AE5 - (ARGAMASSA CIMENTÍCIA)

Do ensaio obteve-se o seguinte gráfico.



AE5_1

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0419x + 0,4913

Ordenada na origem ($\Delta m'0$): y = 0,4913 kg/m^2

Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 12,807 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(12,807-0,4913)}{293,94} = 0,0419$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 4,19 x10^{-2} kg/(m^2.s^{0,5})

AE5_2

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0502x + 0,5007

Ordenada na origem ($\Delta m'0$): y = 0,5007 kg/m^2

Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 15,253 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(15,253-0,5007)}{293,94} = 0,0502$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 5,02 x10^{-2} kg/(m^2.s^{0,5})

AE5_3

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0409x + 0,474

Ordenada na origem ($\Delta m'0$): y = 0,474 kg/m^2

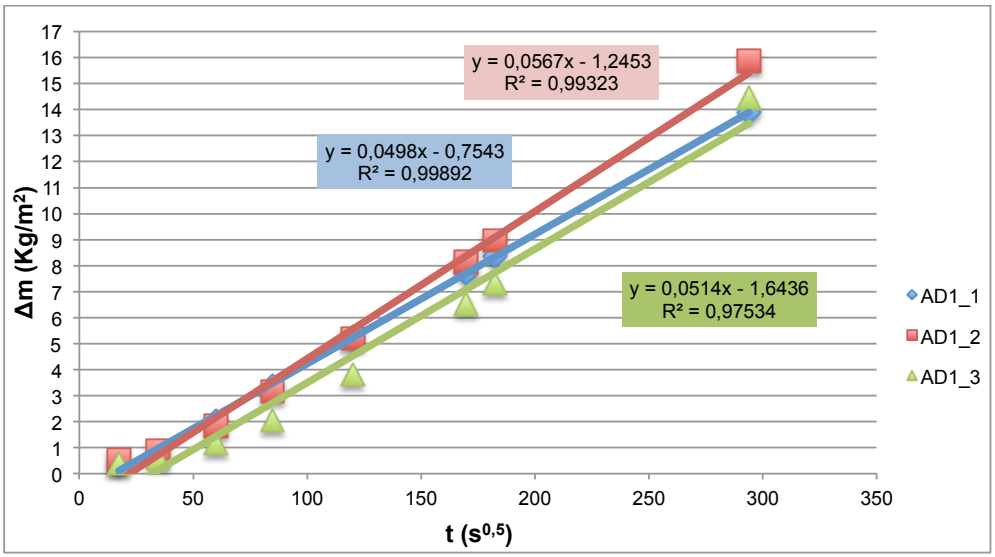
Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 12,496 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(12,496-0,474)}{293,94} = 0,0409$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 4,09 x10^{-2} kg/(m^2.s^{0,5})

AD1 (Argamassa utilizada em sistemas ETICS)

No gráfico abaixo apresenta-se a variação da massa dos provetes da argamassa AD1 ao longo do tempo.



AD1_1

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0498x - 0,7543

Ordenada na origem ($\Delta m0$): y = - 0,7543 kg/m^2

Sendo $t_f^{0.5}$= 293,94 s$^{0.5}$ então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0.5}$) = 13,88 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$$Aw = \frac{(13{,}88-(-0{,}7543))}{293{,}94} = 0{,}0498 \text{ kg/(m}^2\text{.s}^{0.5}\text{)} = 4{,}98 \text{ x10}^{-2} \text{ kg/(m}^2\text{.s}^{0.5}\text{)}$$

AD1_2

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0567x - 1,2453

Ordenada na origem ($\Delta m0$): y = -1,2453 kg/m^2

Sendo $t_f^{0.5}$= 293,94 s$^{0.5}$ então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0.5}$) = 15,42 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$$Aw = \frac{(15{,}42-(-1{,}2453))}{293{,}94} = 0{,}0567 \text{ kg/(m}^2\text{.s}^{0.5}\text{)} = 5{,}67 \text{ x10}^{-2} \text{ kg/(m}^2\text{.s}^{0.5}\text{)}$$

AD1_3

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0514x - 1,6436

Ordenada na origem ($\Delta m0$): y = -1,6436 kg/m^2

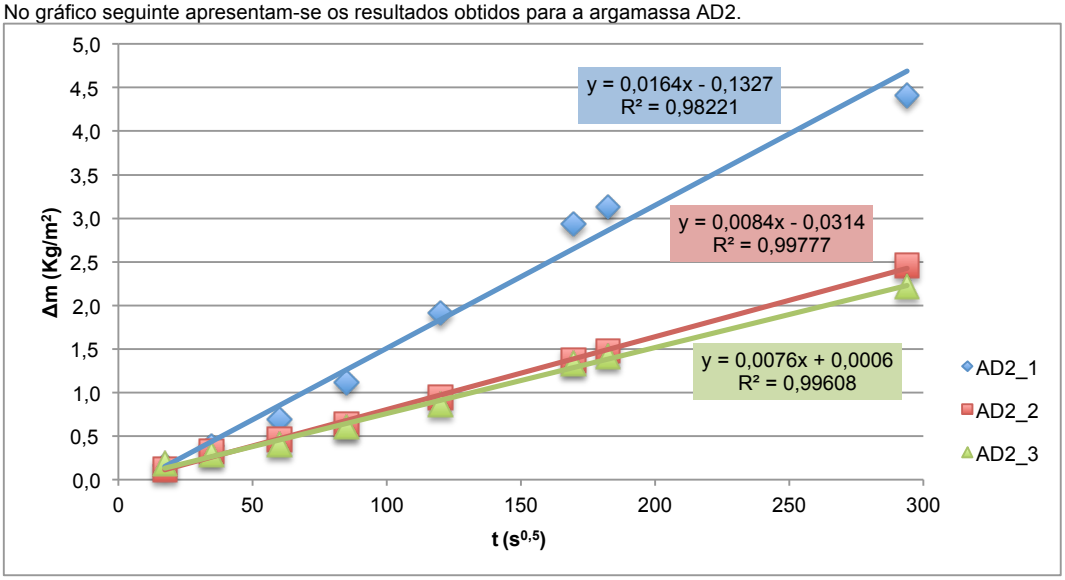
Sendo $t_f^{0.5}$= 293,94 s$^{0.5}$ então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0.5}$) = 13,47 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$$Aw = \frac{(13{,}47-(-1{,}6436))}{293{,}94} = 0{,}0514 \text{ kg/(m}^2\text{.s}^{0.5}\text{)} = 5{,}14 \text{ x10}^{-2} \text{ kg/(m}^2\text{.s}^{0.5}\text{)}$$

AD2 - (ARGAMASSA UTILIZADA EM ETICS)

No gráfico seguinte apresentam-se os resultados obtidos para a argamassa AD2.



AD2_1

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0164x - 0,1327

Ordenada na origem ($\Delta m0$): y = - 0,1327 kg/m^2

Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 4,688 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(4,688-(-0,1327))}{293,94} = 0,0164$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 1,64 x10^{-2} kg/(m^2.s^{0,5})

AD2_2

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0084x - 0,0314

Ordenada na origem ($\Delta m0$): y = - 0,0314 kg/m^2

Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 2,438 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(2,438-0,0314)}{293,94} = 0,00819$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 8,19 x10^{-3} kg/(m^2.s^{0,5})

AD2_3

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0076x + 0,0006

Ordenada na origem ($\Delta m0$): y = 0,0006 kg/m^2

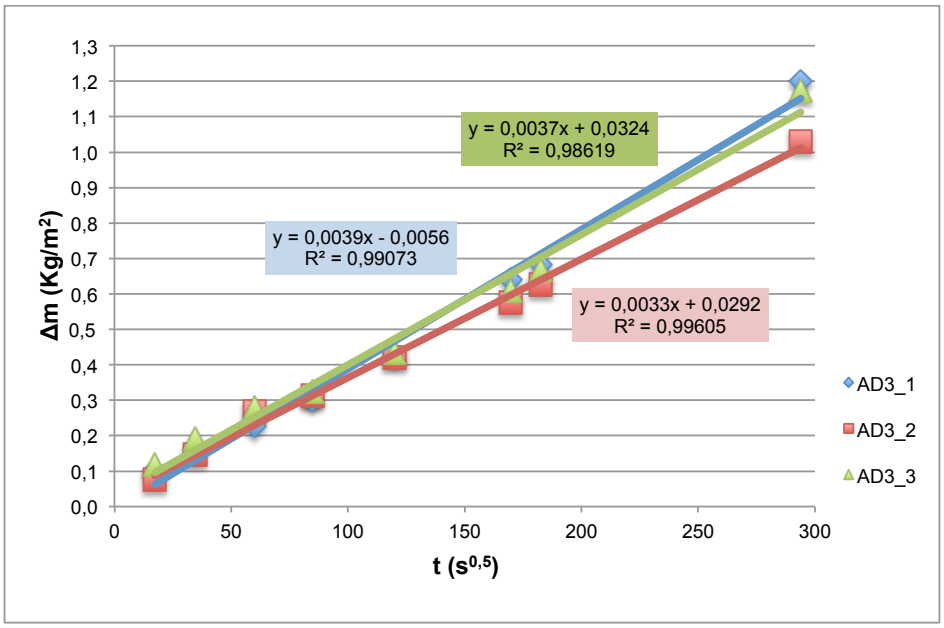
Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 2,235 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(2,235-0,0006)}{293,94} = 0,0076$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 7,60 x10^{-3} kg/(m^2.s^{0,5})

AD3 (Argamassa utilizada em sistemas ETICS)

Do ensaio obteve-se o seguinte gráfico, sendo AD3_1, AD3_2 e AD3_3 três provetes iguais da argamassa AD3.



AD3_1

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0039x - 0,0056

Ordenada na origem ($\Delta m0$): y = - 0,0056 kg/m^2

Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 1,14 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(1,14-(-0,0056))}{293,94} = 0,0039$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 3,90 x10^{-3} kg/(m^2.s^{0,5})

AD3_2

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0033x + 0,0292

Ordenada na origem ($\Delta m0$): y = 0,0292 kg/m^2

Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 1,00 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(1,00-0,0292)}{293,94} = 0,0033$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 3,30x10^{-3} kg/(m^2.s^{0,5})

AD3_3

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0037x + 0,0324

Ordenada na origem ($\Delta m0$): y = 0,0324kg/m^2

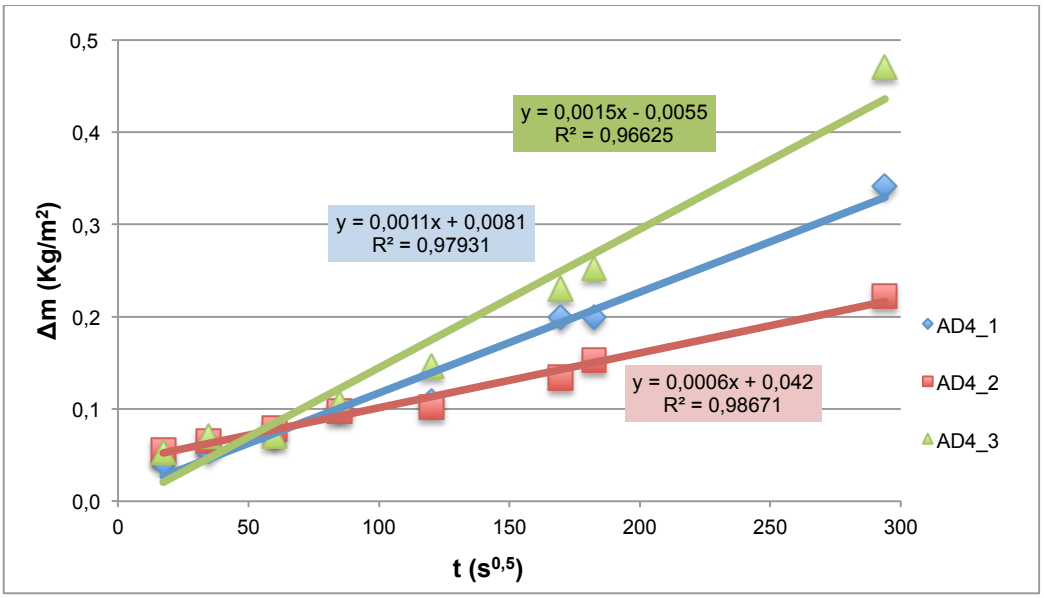
Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 1,12 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$Aw = \frac{(1,12-0,0324)}{293,94} = 0,0037$ kg/(m^2.s^{0,5}) = 3,70x10^{-3} kg/(m^2.s^{0,5})

AD4 (Argamassa utilizada em sistemas ETICS)

Do ensaio obteve-se o seguinte gráfico, sendo AD4_1, AD4_2 e AD4_3 três provetes iguais da argamassa AD4.



AD4_1

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0011x + 0,0081

Ordenada na origem ($\Delta m0$): y = 0,0081 kg/m^2

Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 3,24 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$$Aw = \frac{(3,24-0,0081)}{293,94} = 0,011 \text{ kg/(m}^2\text{.s}^{0,5}\text{)} = 1,10 \text{ x}10^{-2} \text{ kg/(m}^2\text{.s}^{0,5}\text{)}$$

AD3_2

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0006x + 0,042

Ordenada na origem ($\Delta m0$): y = 0,042 kg/m^2

Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 0,22 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$$Aw = \frac{(0,22-0,042)}{293,94} = 0,00061 \text{ kg/(m}^2\text{.s}^{0,5}\text{)} = 6,10\text{x}10^{-4} \text{ kg/(m}^2\text{.s}^{0,5}\text{)}$$

AD3_3

Tipo de Gráfico : A

Equação da recta: y = 0,0015x - 0,0055

Ordenada na origem ($\Delta m0$): y = - 0,0055 kg/m^2

Sendo $t_f^{0,5}$= 293,94 s^{0,5} então $\Delta m'tf$ = y ($t_f^{0,5}$) = 0,44 kg/m^2

$$Aw = \frac{(\Delta m'tf - \Delta m'0)}{\sqrt{tf}}$$

$$Aw = \frac{(0,44-0,0055)}{293,94} = 0,00148 \text{ kg/(m}^2\text{.s}^{0,5}\text{)} = 1,48\text{x}10^{-3} \text{ kg/(m}^2\text{.s}^{0,5}\text{)}$$

SÍNTESE

No quadro abaixo faz-se uma síntese dos valores obtidos para as argamassas correntes.

Provete	Coeficiente de Absorção (A_w) kg/(m^2.s^{0,5})	Média (kg/(m^2.s^{0,5}))	Desvio Padrão	Caracterização (DIN 52.617)
AE1_1	19,02 x10^{-2}	19,14 x10^{-2}	0,821	"Sucção Rápida"
AE1_2	18,38 x10^{-2}			
AE1_3	20,01 x10^{-2}			
AE2_1	0,56 x10^{-2}	0,65 x10^{-2}	0,085	"Quase Impermeável"
AE2_2	0,65 x10^{-2}			
AE2_3	0,73 x10^{-2}			
AE3_1	7,64 x10^{-2}	7,96 x10^{-2}	0,315	"Sucção Rápida"
AE3_2	7,97 x10^{-2}			
AE3_3	8,27 x10^{-2}			
AE4_1	1,59 x10^{-2}	1,38 x10^{-2}	0,238	"Preventivo contra a água"
AE4_2	1,42x10^{-2}			
AE4_3	1,12 x10^{-2}			
AE5_1	4,19 x10^{-2}	4,43 x10^{-2}	0,511	"Sucção Rápida"
AE5_2	5,02 x10^{-2}			
AE5_3	4,09 x10^{-2}			

No quadro abaixo faz-se uma síntese dos valores obtidos para as argamassas utilizadas em sistemas ETICS.

Provete	Coeficiente de Absorção (A_w) kg/(m^2.s^{0,5})	Média (kg/(m^2.s^{0,5}))	Desvio Padrão	Caracterização (DIN 52.617)
AD1_1	4,98x10^{-2}	5,26 x10^{-2}	0,0036	"Sucção Rápida"
AD1_2	5,67x10^{-2}			
AD1_3	5,14x10^{-2}			
AD2_1	1,64 x10^{-2}	1,073 x10^{-2}	0,492	"Preventivo contra a água"
AD2_2	8,19 x10^{-3}			
AD2_3	7,60 x10^{-3}			
AD3_1	0,39 x10^{-2}	0,36 x10^{-2}	0,00031	"Quase impermeável"
AD3_2	0,33 x10^{-2}			
AD3_3	0,37 x10^{-2}			
AD4_1	1,10 x10^{-2}	0,44x10^{-2}	0,0058	"Quase impermeável"
AD4_2	0,06x10^{-2}			
AD4_3	0,15x10^{-2}			

OBSERVAÇÕES:

Apenas se fizeram três provetes de cada argamassa embora segundo a norma utilizada se devesse ter feito seis. Esta alteração introduzirá incerteza aos resultados.

A 3 – FICHA DE ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA ADERÊNCIA POR TRAÇÃO

Argamassas correntes

AE1 (Cal Aérea)

AE2 (Cal Hidráulica)

AE3 (Cimentícia)

AE4 (Cimentícia)

AE5 (Cimentícia)

Argamassas utilizadas em ETICS

AD1

AD2

AD3

AD4

FICHA DE ENSAIO – ADERÊNCIA POR TRAÇÃO *"PULL-OFF"*

IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO

Determinação da aderência das argamassas ao substrato através do ensaio *pull-off*

REFERÊNCIAS NORMATIVAS

Norma: EN 1015-12 – *Methods of test for motar for masonry – Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates*
de Fevereiro de 2010

IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO

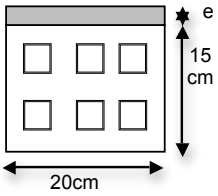
Nome: Argamassas de Revestimento Exterior

Método de Preparação dos Provetes:
Argamassas preparadas consoante indicações do fornecedor;
Argamassa colocada sobre uma das faces maiores de um tijolo de 15mm de espessura.

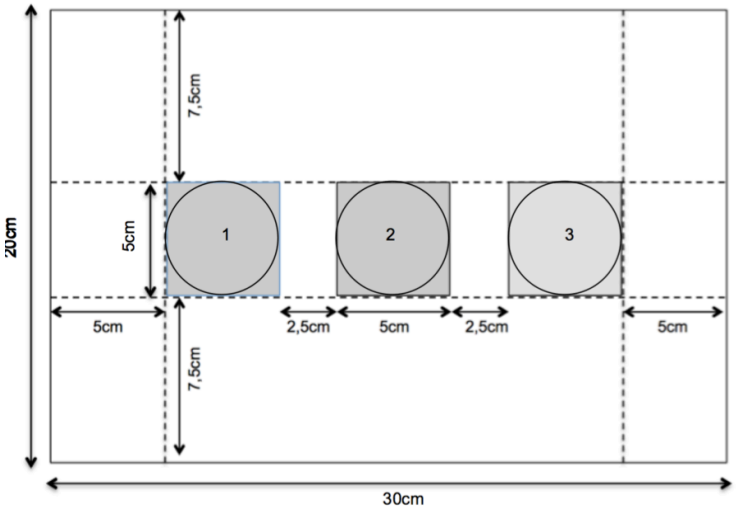
Dimensões dos Provetes:
A camada da argamassa tem a espessura de 1cm nas argamassas aqui designadas por argamassas correntes (AE)
No entanto nas argamassas usadas no sistema ETICS usamos uma espessura menor de forma a melhor representar a realidade, usamos a espessura de 0,5 cm.
Ou seja,
(0,30x0,20x0,01) argamassas tradicionais
(0,30x0,20x0,005) argamassas utilizadas em ETICS

EQUIPAMENTO UTILIZADO

Tijolos de 15 cm
Cola do tipo *epoxy*
Equipamento de pull-off: -Marca/modelo: POSITEST ADHESIVE TESTER
Elemento tubular com diâmetro de 50mm (igual ao da pastilha do equipamento de pull-off)
Sacos de plástico



e - espessura da argamassa
varia de acordo com a tipologia
da argamassa



PROCESSO DE ENSAIO

Condicionamento inicial:
Temperatura: (22 ± 2) ºC
Humidade Relativa: (55 ± 5)%

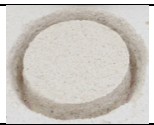
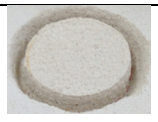
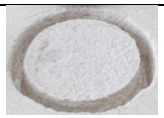
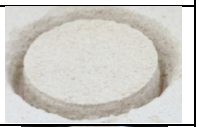
Preparação do ensaio:
-Preparação da argamassa conforme as indicações do fabricante
-Logo que tenha presa suficiente coloca-se um plástico a envolver toda a área de argamassa durante os primeiros 7 dias.
-Nos 21 dias restantes deixamos as amostras em contacto com ar.
-A zona de ensaio tem de estar separada da restante através de um corte que se faz na argamassa com o diâmetro de 50±1mm. Este corte pode ser feito aquando da argamassa fresca ou quando esta se encontra endurecida.
-No dia anterior à realização do ensaio cola-se as pastilhas à zona de argamassa que vai ser testada. As patilhas também têm 50 mm de diâmetro.

Condições de ensaio:
Temperatura: 22 ± 2 ºC
Humidade: 55 ± 5%
As argamassas são testadas aos 28 dias de idade.

RESULTADOS

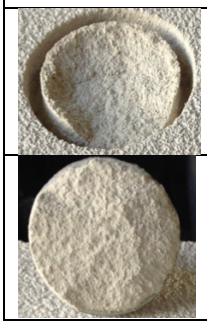
- **AE1 – Argamassa de Cal Aérea**

Provete	Número de camadas	Espessura (m)	Força de rotura (KN)	Superfície de rotura (mm²)	Tensão de rotura (MPa)	Tipo de rotura	Tensão média de rotura (MPa)	Diferença máxima relativamente ao valor médio (%)
AE1_1	2*	0,01	484,1	1962,5	0,95	b)	0,53	80
AE1_2			397,5	1962,5	0,78	b)		
AE1_3			86,6	1962,5	0,17	b)		
AE1_4			239,5	1962,5	0,47	b)		-68
AE1_5			137,6	1962,5	0,27	b)		

AE1_1	AE1_2	AE1_3	AE1_4	AE1_5
				
				

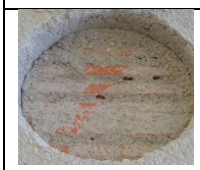
- **AE2 – Argamassa de Cal Hidráulica**

Provete	Número de camadas	Espessura (m)	Força de rotura (KN)	Superfície de rotura (mm²)	Tensão de rotura (MPa)	Tipo de rotura	Tensão média de rotura (MPa)	Diferença máxima relativamente ao valor médio (%)
AE2_1	2*	0,01	504,5	1962,5	0,99	b)	0,83	33
AE2_2			433,1	1962,5	0,85	b)		
AE2_3			351,6	1962,5	0,69	b)		
AE2_4			259,9	1962,5	0,51	b)		-38
AE2_5			560,5	1962,5	1,10	b)		

AE2_1	AE2_2	AE2_3	AE2_4	AE2_5
				

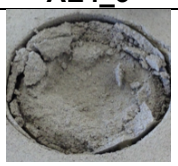
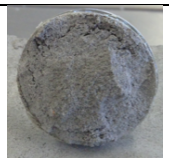
- **AE3 – Argamassa Cimentícia**

Provete	Número de camadas	Espessura (m)	Força de rotura (KN)	Superfície de rotura (mm²)	Tensão de rotura (MPa)	Tipo de rotura	Tensão média de rotura (MPa)	Diferença máxima relativamente ao valor médio (%)
AE3_1	1	0,01	112,1	1962,5	0,22	a)	0,27	13
AE3_2			158,0	1962,5	0,31	a)		
AE3_3			147,8	1962,5	0,29	a)		
AE3_4			107,0	1962,5	0,21	a)		-30
AE3_5			173,2	1962,5	0,34	a)		

AE3_1	AE3_2	AE3_3	AE3_4	AE3_5
				
				

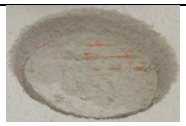
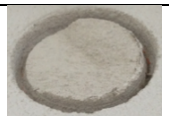
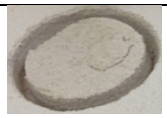
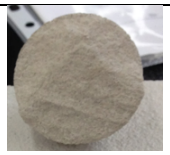
- **AE4 – Argamassa Cimentícia**

Provete	Número de camadas	Espessura (m)	Força de rotura (KN)	Superfície de rotura (mm²)	Tensão de rotura (MPa)	Tipo de rotura	Tensão média de rotura (MPa)	Diferença máxima relativamente ao valor médio (%)
AE4_1	2	0,01	433,1	1962,5	0,85	c)	0,93	45
AE4_2			407,6	1962,5	0,80	c)		
AE4_3			682,8	1962,5	1,34	b)		
AE4_4			458,6	1962,5	0,90	b)		-20
AE4_5			377,1	1962,5	0,74	c)		

AE4_1	AE4_2	AE4_3	AE4_4	AE4_5
				
				

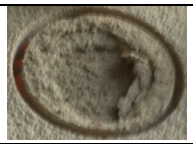
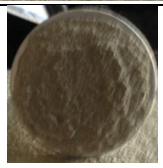
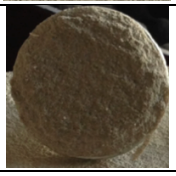
- **AE5 – Argamassa Cimentícia**

Provete	Número de camadas	Espessura (m)	Força de rotura (KN)	Superfície de rotura (mm²)	Tensão de rotura (MPa)	Tipo de rotura	Tensão média de rotura (MPa)	Diferença máxima relativamente ao valor médio (%)
AE5_1	1	0,01	315,9	1962,5	0,62	a)	0,91	41
AE5_2			550,3	1962,5	1,08	b)		
AE5_3			657,3	1962,5	1,29	b)		
AE5_4			422,9	1962,5	0,83	b)		-32
AE5_5			382,2	1962,5	0,75	b)		

AE5_1	AE5_2	AE5_3	AE5_4	AE5_5
				
				

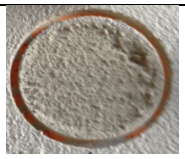
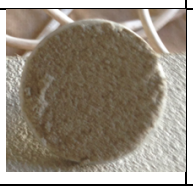
- **AD1 – Argamassa utilizada em ETICS**

Provete	Número de camadas	Espessura (m)	Força de rotura (KN)	Superfície de rotura (mm²)	Tensão de rotura (MPa)	Tipo de rotura	Tensão média de rotura (MPa)	Diferença máxima relativamente ao valor médio (%)
AD1_1	1	0,005	560,5	1962,5	1,10	b)	1,54	17
AD1_2			917,2	1962,5	1,80	b)		
AD1_3			718,5	1962,5	1,41	b)		
AD1_4			820,4	1962,5	1,61	b)		-28
AD1_5			901,9	1962,5	1,77	b)		

AD1_1	AD1_2	AD1_3	AD1_4	AD1_5
				
				

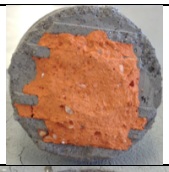
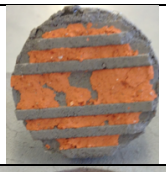
- **AD2 - Argamassa utilizada em ETICS**

Provete	Número de camadas	Espessura (m)	Força de rotura (KN)	Superfície de rotura (mm²)	Tensão de rotura (MPa)	Tipo de rotura	Tensão média de rotura (MPa)	Diferença máxima relativamente ao valor médio (%)
AD2_1	1	0,005	805,1	1962,5	1,58	c)	1,80	37
AD2_2			718,5	1962,5	1,41	c)		
AD2_3			1253,5	1962,5	2,46	c)		
AD2_4			769,4	1962,5	1,51	b)		-22
AD2_5			1034,4	1962,5	2,03	c)		

AD2_1	AD2_2	AD2_3	AD2_4	AD2_5
				
				

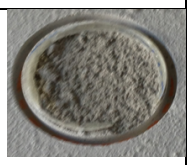
- **AD3 - Argamassa utilizada em ETICS**

Provete	Número de camadas	Espessura (m)	Força de rotura (KN)	Superfície de rotura (mm²)	Tensão de rotura (MPa)	Tipo de rotura	Tensão média de rotura (MPa)	Diferença máxima relativamente ao valor médio (%)
AD3_1	1	0,005	417,8	1962,5	0,82	c)	0,69	31
AD3_2			397,5	1962,5	0,78	c)		
AD3_3			397,5	1962,5	0,57	c)		
AD3_4			229,3	1962,5	0,45	c)		-30
AD3_5			433,1	1962,5	0,85	c)		

AD3_1	AD3_2	AD3_3	AD3_4	AD3_5
				
				

- **AD4 - Argamassa utilizada em ETICS**

Provete	Número de camadas	Espessura (m)	Força de rotura (KN)	Superfície de rotura (mm²)	Tensão de rotura (MPa)	Tipo de rotura	Tensão média de rotura (MPa)	Diferença máxima relativamente ao valor médio (%)
AD4_1	1	0,005	1717,2	1962,5	3,37	b)	3,31	9
AD4_2			1457,3	1962,5	2,86	c)		
AD4_3			1829,3	1962,5	3,59	c)		
AD4_4			1829,3	1962,5	3,59	b)		-13
AD4_5			1589,8	1962,5	3,12	b)		

AD4_1	AD4_2	AD4_3	AD4_4	AD4_5
				
				

Tipos de Rotura

a) Rotura adesiva – rotura entre a argamassa e o suporte

b) Rotura coesiva – rotura na argamassa (a força adesiva da argamassa é superior à do teste)

c)Rotura coesiva – rotura no suporte do material (a força adesiva da argamassa é superior à do teste)

*A camada é constituída por duas camadas, pois trata-se de um sistema de reboco composto por duas argamassas diferentes.

OBSERVAÇÕES
- A argamassa AD3 foi preparada e aplicada segundo as indicações do fornecedor, no entanto ao fim de algumas horas observou-se a abertura de pequenas fissuras superficiais, do tipo "mapeado", sem orientação preferencial. Aplicou-se a argamassa em uma só camada. Continuou-se com o ensaio pois a área de ensaio como foi demarcada em fresco e tem uma área pequena não se observam fissuras nessa zona. - As zonas de ensaios foram demarcadas quando a argamassa se encontrava ainda fresca nas argamassas AE3, AE4 e AD3. Nas restantes argamassas estas zonas foram cortadas quando as argamassas já se encontravam endurecidas.

A 4 – FICHA DE ENSAIO DE VARIAÇÕES DIMENSIONAIS

Argamassa: AE1 (Cal Aérea)

FICHA DE ENSAIO – DETERMINAÇÃO DE VARIAÇÃO DIMENSIONAL

IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO

Determinação de variação dimensional de argamassa endurecida

REFERÊNCIAS NORMATIVAS

Norma: Não existem pois o ensaio é experimental e foi desenvolvido no Laboratório de Construções Civis.

IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO

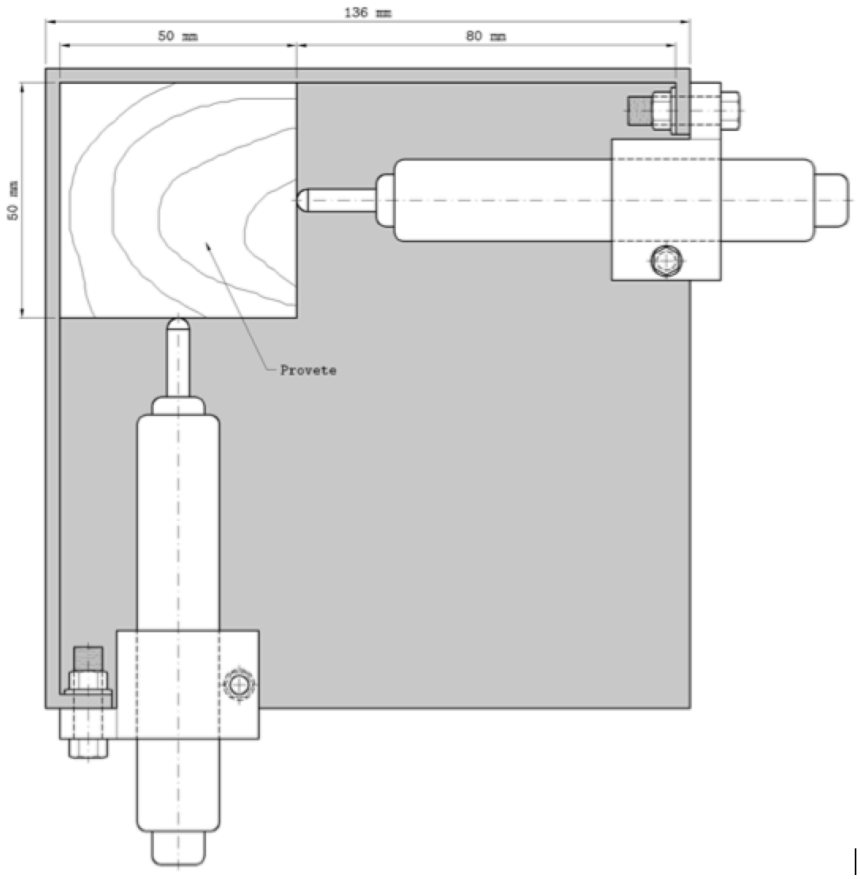
Nome: Argamassas de Exterior

Método de Preparação dos Provetes:
Argamassas preparadas consoante indicações do fornecedor;
Argamassa colocada em moldes de forma a adquirir as dimensões requeridas;

Dimensões dos Provetes:
(0,05x0,05x0,05) m

EQUIPAMENTO UTILIZADO

- *data logger*
modelo: "Mikromec® Multisens"
- sensores LSC (ou LDS)
- tabuleiros em chapa inox (3mm de espessura)
- computador
- balança de precisão



PROCESSO DE ENSAIO

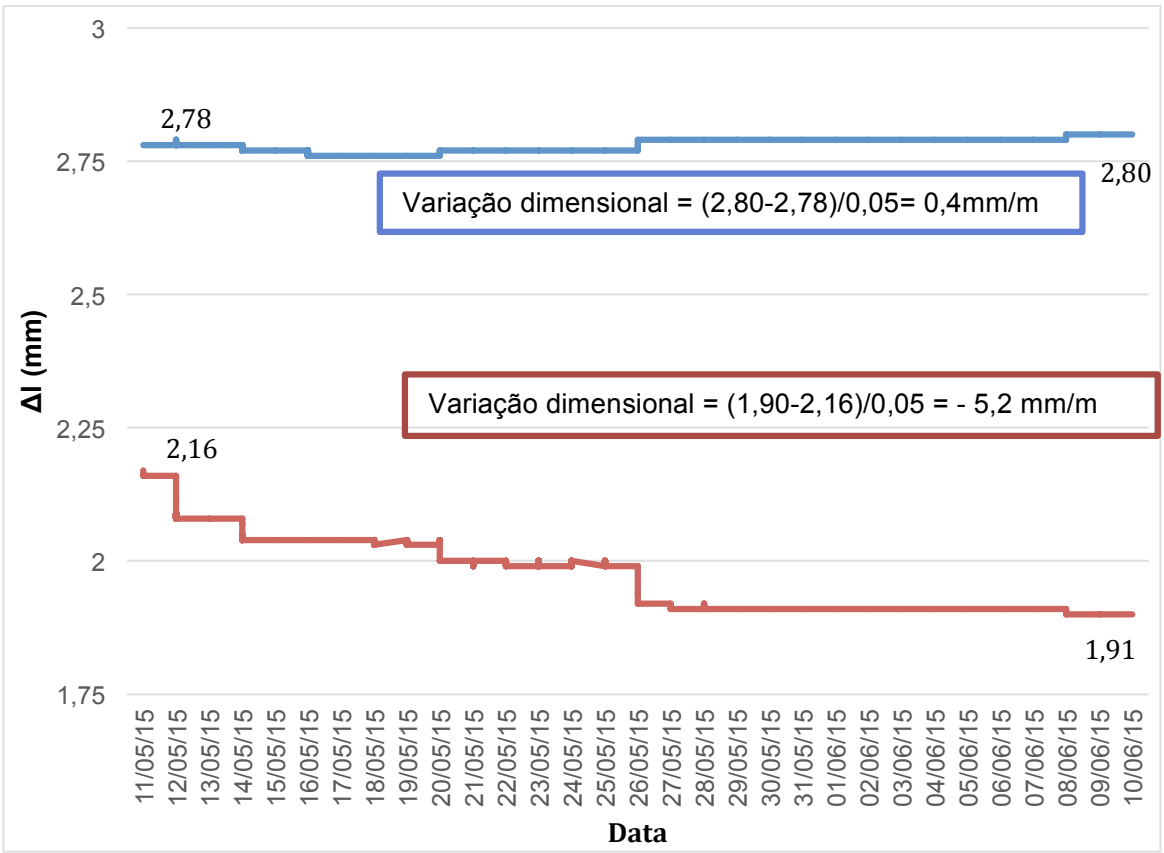
Condicionamento inicial:
Temperatura: 20±3ºC
Humidade relativa: 55±5%

Preparação do ensaio:
-Preparação da argamassa conforme as indicações do fabricante
-Coloca-se a argamassa nos moldes e quando esta tiver resistência suficiente desmolda-se e inicia-se o ensaio.

Condições de ensaio:
Data de inicio: 11/05/2015
(argamassa com 19 dias de idade)
T=23ºC
Humidade Relativa = 64%

RESULTADOS

Os dados obtidos pelo computador permitiram fazer o gráfico seguinte.



OBSERVAÇÕES

Os valores obtidos são demasiado dispares para um material que se crê isotrópico e os sobressaltos que se vê no gráfico também não são normais daí que teríamos de repetir os ensaios para ter resultados mais credíveis.
O intervalo de tempo que consta no gráfico é de um mês aproximadamente.