



“Humidades ascensionais em paredes de alvenaria de edifícios antigos”

Rui Jorge de Moraes Monteiro Torres

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Construção e Reabilitação

Orientadores

Orientador: Professor Doutor João Paulo Janeiro Gomes Ferreira

Orientador: Professor Doutor Fernando António Baptista Branco

Júri

Presidente: Professor Doutor Pedro Manuel Gameiro Henriques

Vogal: Professor Doutor Fernando António Baptista Branco

Vogal: Professor Doutor Pedro Miguel Dias Vaz Paulo

Outubro de 2014

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Professor Doutor João Gomes Ferreira pelo estímulo, total disponibilidade e espírito de colaboração permanentemente demonstrado ao longo do presente trabalho.

Aos Senhores Professor Doutor Fernando Branco e Professor Doutor João Ramôa Correia pelos esclarecimentos fornecidos e incentivos transmitidos.

À Senhora Professora Doutora Ana Sofia Moreira dos Santos Guimarães Teixeira pelas explicações prestadas sobre dúvidas surgidas após estudo do livro “Humidade Ascensional” em que é co-autora, bem como amavelmente ter disponibilizado cópia digitalizada da sua Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, entre outras publicações também fornecidas.

Ao Senhor Professor Gaspar Nero pelos esclarecimentos prestados a nível das forças intermoleculares ou de Van der Waals, bem como ter facultado o artigo “As argamassas tradicionais no parque edificado de Lisboa: uma colaboração para o seu conhecimento”.

A todos os Senhores Professores que ministraram aulas ao longo do Curso de Mestrado em Construção e Reabilitação do Instituto Superior Técnico, tendo-me dado a oportunidade de aprender novas matérias e conhecimentos, bem como poder regressar ao salutar espírito académico.

Ao Senhor Leonel Silva pela ajuda e cooperação demonstrada durante os meses passados no Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico.

Ao Senhor Isidro Ribeiro, mestre pedreiro, por ter realizado com brio o murete de alvenaria de pedra e respetivas camadas de reboco.

Aos colegas e amigos do curso de Mestrado em Construção e Reabilitação, devendo destacar – Luís Machado, Miguel Fevereiro e Sara Dias – que contribuíram com muitos conselhos e incentivos.

À memória de meu Pai, a minha Mãe, Ana Bela, Tó-Zé e Luís Paulo venho exprimir enorme gratidão e reconhecimento ímpar pela amizade e constante ajuda demonstrada por Todos ao longo deste desafio.

À Ana Paula e Ana Margarida venho também expressar enorme gratidão pela amizade e persistente apoio e encorajamento manifestado ao longo do Curso de Mestrado em Construção e Reabilitação do Instituto Superior Técnico.

Humidades ascensionais em paredes de alvenaria de edifícios antigos

RESUMO

A humidade é considerada uma das mais comuns e principais causas de degradação nas edificações. Por sua vez a humidade ascensional proveniente dos solos, manifesta-se vulgarmente nas paredes e nos pavimentos dos edifícios, através de migração por capilaridade, ao longo da estrutura porosa dos materiais e dos diversos elementos que constituem as construções.

A humidade ascensional constitui um fenómeno muito antigo que conduz à ocorrência de anomalias várias, originando sem exceção uma diminuição considerável das condições de habitabilidade nas edificações.

Efetuarão-se diversos ensaios laboratoriais num provete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica e areia, representativo desse tipo de paredes de edifícios antigos, com o objectivo de avaliar a progressão de humidades ascensionais, bem como o seu comportamento perante algumas medidas entretanto implementadas.

Palavras-chave: Humidade Ascensional, Paredes, Edifícios Antigos, Análise Experimental, Tinta de Borracha.

Rising damp in masonry walls of old buildings

ABSTRACT

Structural Dampness is considered one of the most common and major causes of degradation in the buildings.

In turn the rising damp from soils manifests itself commonly in the walls and floors of buildings, through migration by capillary action, along the porous structure of the materials that constitute the constructions.

The issue of rising damp has been a concern since ancient times and leads to the occurrence of multiple anomalies, resulting in a considerable decrease of the conditions of building habitability.

Several laboratory tests were performed on a specimen of stone masonry and mortar of hydraulic lime and sand, representative of this type of old building walls, to assess the progression of rising damp, as well as it's behavior on certain implemented measures.

Keywords: Rising Damp, Walls, Old Buildings, Experimental Research, Rubber Paint.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE QUADROS	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS	1
1.2 METODOLOGIA	1
1.3 ESTRUTURA DO DOCUMENTO	2
BIBLIOGRAFIA DO CAPÍTULO	4
2 ESTADO DA ARTE	5
2.1 PROBLEMA DA HUMIDADE ASCENSIONAL / DESCRIÇÃO FÍSICA DO FENÓMENO	5
2.1.1 HIGROCOSCIPICIDADE	6
2.1.2 CONDENSAÇÃO	8
2.1.3 CAPILARIDADE	9
2.2 MANIFESTAÇÕES E CONSEQUÊNCIAS DA HUMIDADE ASCENSIONAL NAS CONSTRUÇÕES	11
2.2.1 HUMIDADE DE CONSTRUÇÃO	12
2.2.2 HUMIDADE DO TERRENO	13
2.2.3 HUMIDADE DE PRECIPITAÇÃO	26
2.2.4 HUMIDADE DE CONDENSAÇÃO	27
2.2.5 HUMIDADE DEVIDA A FENÓMENOS DE HIGROSCOPICIDADE	29
2.2.6 HUMIDADE DEVIDA A CAUSAS FORTUITAS	29
2.3 MÉTODOS DE PREVENÇÃO E TRATAMENTO DAS HUMIDADES ASCENSIONAIS	30
2.3.1 EXECUÇÃO DE CORTE HÍDRICO	31
2.3.1.1 BARREIRAS FÍSICAS	31
2.3.1.2 BARREIRAS QUÍMICAS	33
2.3.2 REDUÇÃO DA SECÇÃO ABSORVENTE	36
2.3.3 INTRODUÇÃO DE TUBOS DE AREJAMENTO	37

2.3.4 ELETRO-OSMOSE	37
2.3.5 OCULTAÇÃO DAS ANOMALIAS	39
2.3.5.1 APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO COM POROSIDADE E POROMETRIA CONTROLADA	39
2.3.5.2 APLICAÇÃO DE FORRA INTERIOR SEPARADA POR UM ESPAÇO DE AR	39
2.3.6 VENTILAÇÃO DA BASE DAS PAREDES	40
2.3.7 ANÁLISE COMPARATIVA DAS DIFERENTES SOLUÇÕES	41
BIBLIOGRAFIA DO CAPÍTULO	43
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL	45
3.1 OBJECTIVOS DA CAMPANHA EXPERIMENTAL	45
3.2 CONSTRUÇÃO DA PAREDE DE TESTE (PROVETE)	45
3.3 ESQUEMA DE ENSAIO	50
3.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	59
3.4.1 TIPOLOGIA 1.a) EM AMBIENTE NATURAL	61
3.4.2 TIPOLOGIA 1.b) EM CÂMARA CONTROLADA	62
3.4.3 TIPOLOGIA 2 EM CÂMARA CONTROLADA	63
3.4.4 TIPOLOGIA 3 EM CÂMARA CONTROLADA	63
3.4.5 TIPOLOGIA 4 EM CÂMARA CONTROLADA	64
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS	67
4.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	67
4.1.1 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS DA TIPOLOGIA 1.a) EM AMBIENTE NATURAL	67
4.1.2 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS DA TIPOLOGIA 1.b) EM CÂMARA CONTROLADA	70
4.1.3 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS DA TIPOLOGIA 2 EM CÂMARA CONTROLADA	74
4.1.4 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS DA TIPOLOGIA 3 EM CÂMARA CONTROLADA	80
4.1.5 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS DA TIPOLOGIA 4 EM CÂMARA CONTROLADA	85
4.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS	89
4.2.1 TIPOLOGIA 1.a) EM AMBIENTE NATURAL	89
4.2.2 TIPOLOGIA 1.b) EM CÂMARA CONTROLADA	91
4.2.3 TIPOLOGIA 2 EM CÂMARA CONTROLADA	92

4.2.4 TIPOLOGIA 3 EM CÂMARA CONTROLADA	94
4.2.5 TIPOLOGIA 4 EM CÂMARA CONTROLADA	96
BIBLIOGRAFIA DO CAPÍTULO	100
5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	101
5.1 CONCLUSÕES	101
5.2 PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	104
BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Modelo de comportamento de uma parede de alvenaria em relação à humidade. [4]	5
Figura 2.2 – Comportamento higroscópico de materiais de construção em função da humidade relativa. [1]	7
Figura 2.3 – Higroscopicidade. [5]	7
Figura 2.4 – Diagrama psicrométrico. [5]	8
Figura 2.5 – Determinação da zona de ocorrência de condensações no interior de uma parede (Método de Glaser). [5]	8
Figura 2.6 – O fenómeno da capilaridade. [5]	9
Figura 2.7 – Pressão capilar, num capilar cilíndrico. [6]	10
Figura 2.8 – Curva de pressão capilar obtida experimentalmente pelo Professor Vasco Freitas. [5] ..	10
Figura 2.9 – Mecanismo de formação de eflorescências e criptoflorescências. [2]	15
Figura 2.10 – Anomalia verificada numa parede interior de alvenaria de xisto numa casa de habitação (piso térreo) no concelho de Alandroal	17
Figura 2.11 – Anomalia verificada numa parede interior de alvenaria de xisto numa casa de habitação (piso térreo) no concelho de Alandroal	17
Figura 2.12 – Anomalia verificada no paramento interior dum parede exterior dum refeitório (piso térreo) no concelho de Cascais	18
Figura 2.13 – Anomalia verificada no paramento interior dum parede exterior dum refeitório (piso térreo) no concelho de Cascais	18
Figura 2.14 – Anomalia verificada no paramento interior dum parede exterior dum refeitório (piso térreo) no concelho de Cascais	18
Figura 2.15 – Anomalia verificada no paramento interior dum parede exterior dum refeitório (piso térreo) no concelho de Cascais	18
Figura 2.16 – Influência das condições climáticas na progressão da humidade. [7]	19
Figura 2.17 – A influência da insolação e orientação na progressão da humidade nas alvenarias. [7]	20
Figura 2.18 – A presença de sais e alguns dos seus efeitos. [7]	21
Figura 2.19 – Porosidade aberta. [5]	21
Figura 2.20 – Porosidade fechada. [5]	21
Figura 2.21 – Variação do teor de humidade ao longo da secção transversal em função da espessura da parede. [5]	23
Figura 2.22 – Influência da colocação de material impermeável na humidade ascensional. [5]	23
Figuras 2.23 – Influência da colocação de revestimentos impermeáveis na humidade ascensional. [5]	24
Figura 2.24 - Variação das alturas atingidas pela humidade do terreno em paredes interiores e exteriores. [2]	25

Figura 2.25 – Algumas causas de anomalias devidas a infiltrações de água em paredes duplas. [5]	27
Figuras 2.26 – Introdução de camadas não capilares em alvenarias regulares (CSTC – Centre Scientifique et Technique de la Construction). [8]	31
Figura 2.27 – Método de Massari (CSTC – Centre Scientifique et Technique de la Construction). [8]	32
Figura 2.28 – Método de Schöner Turn (CSTC – Centre Scientifique et Technique de la Construction). [8]	33
Figura 2.29 – Esquema de furação. [5]	33
Figura 2.30 – Introdução de produtos por difusão. [5]	34
Figura 2.31 – Introdução de produtos por injeção (catálogo comercial)	34
Figuras 2.32 – Influência da redução da secção absorvente na humidade ascensional. [5]	36
Figura 2.33 – Tubos de arejamento. [5]	37
Figura 2.34 – Revestimentos com porosidade e porometria controlada. [5]	39
Figura 2.35 – Forra interior separada por um espaço de ar. [7]	39
Figura 2.36 – Princípio de funcionamento de um sistema de ventilação da base das paredes. [5]	40
Figura 3.1 – Lavagem e escovagem das pedras	46
Figura 3.2 – Lavagem com jacto de água	46
Figura 3.3 – Cal hidráulica natural (NHL 5)	46
Figura 3.4 – Areia amarela de Corroios	46
Figura 3.5 – Areia do rio Tejo	47
Figura 3.6 – Lavagem da betoneira para execução de argamassa	47
Figura 3.7 – Argamassa de cal natural e areia	47
Figura 3.8 – Preparação da base de suporte para construção do murete de alvenaria	47
Figura 3.9 – Primeiro ensaio com medições	47
Figura 3.10 – Primeira fiada de alvenaria várias	47
Figura 3.11 – Segunda fiada de alvenaria	48
Figura 3.12 – Progresso do murete	48
Figura 3.13 – Face desempenada do murete	48
Figura 3.14 – Ação com martelo para garantir bom encaixe da pedra e o refluir da argamassa	48
Figura 3.15 – Preenchimento interior	48
Figura 3.16 – Remate do coroamento	48
Figura 3.17 – Remate do coroamento	49
Figura 3.18 – Aprimorar as juntas	49

Figura 3.19 – Alçado principal do murete	49
Figura 3.20 – Vista global do murete com alçado lateral e coroamento em destaque	49
Figura 3.21 – Estrutura metálica de suporte	50
Figura 3.22 – Pormenor das rodas acopladas	50
Figura 3.23 – Pormenor da tina (vista superior)	50
Figura 3.24 – Pormenor da tina (vista inferior)	50
Figura 3.25 – Controlo da amassadura da argamassa	53
Figura 3.26 – Provete para determinação da baridade	53
Figura 3.27 – Aplicação de argamassa	53
Figura 3.28 – Reboco com 0,03 m de espessura média na face de maior dimensão (face “A”)	53
Figura 3.29 – Linha de corte do reboco	54
Figura 3.30 – Corte efetuado com rebarbadora	54
Figura 3.31 – Martelo e escopro utilizados	55
Figura 3.32 – Utensílios de limpeza	55
Figura 3.33 – Pormenor de corte do reboco na base do provete	55
Figura 3.34 – Proteção do provete com manta de plástico	55
Figura 3.35 – Lata com 1 litro de tinta e pincel	56
Figura 3.36 – Preparação da tinta de borracha	56
Figura 3.37 – Aplicação da 1ª. demão de tinta de borracha	56
Figura 3.38 – Progresso na aplicação de tinta de borracha	56
Figura 3.39 – Argamassa de cal hidráulica e areia	58
Figura 3.40 – Aplicação de camada de reboco com dente na base da face “B”	58
Figura 3.41 – Utilizando a talocha	58
Figura 3.42 – Retoques finais com esponja	58
Figura 3.43 – Câmara termográfica “Fluke” TIR 27 (IR Fusion Technology)	60
Figura 3.44 – Câmara termográfica “Fluke” TIR 27 (IR Fusion Technology)	60
Figura 3.45 – Exemplos de fotografias tiradas ao provete no interior da câmara de cura	60
Figura 3.46 – Exemplos de fotografias tiradas ao provete no interior da câmara de cura	60
Figura 3.47 – Humidímetro de contacto “Tramex”	60
Figura 3.48 – Empilhador “Toyota”	60
Figura 3.49 – Ensaio realizado no Laboratório de Construção	61
Figura 3.50 – Ensaio realizado no Laboratório de Construção	61

Figura 3.51 – Ensaio realizado em ambiente controlado de temperatura e humidade	62
Figura 4.1 – Sequência experimental realizada no provete	67
Figura 4.2 – Tipologia 1.a	68
Figura 4.3 – Face “A” / Tipologia 1.a) em ambiente natural (de 18/02/2013 a 15/03/2013)	69
Figura 4.4 – Ao fim de 1 hora. (Leitura em 18/02/2013)	69
Figura 4.5 – Ao fim de 3,5 horas. (Leitura em 18/02/2013)	69
Figura 4.6 – Ao fim de 5 horas. (Leitura em 18/02/2013)	69
Figura 4.7 – Ao fim de 7 dias. (Leitura em 25/02/2013)	70
Figura 4.8 – Ao fim de 15 dias. (Leitura em 05/03/2013)	70
Figura 4.9 – Ao fim de 22 dias. (Leitura em 12/03/2013)	70
Figura 4.10 – Tipologia 1.b	71
Figura 4.11 – Face “B” / Tipologia 1.b) em câmara controlada (de 17/04/2013 a 07/05/2013)	72
Figura 4.12 – Ao fim de 2,5 horas (Leitura em 17/04/2013)	72
Figura 4.13 – Ao fim de 5 horas (Leitura em 17/04/2013)	72
Figura 4.14 – Ao fim de 1 dia (Leitura em 18/04/2013)	72
Figura 4.15 – Ao fim de 1 dia (Leitura em 18/04/2013)	73
Figura 4.16 – Ao fim de 5 dias (Leitura em 22/04/2013)	73
Figura 4.17 – Ao fim de 5 dias (Leitura em 22/04/2013)	73
Figura 4.18 – Ao fim de 7 dias (Leitura em 24/04/2013)	73
Figura 4.19 – Ao fim de 12 dias (Leitura em 29/04/2013)	73
Figura 4.20 – Ao fim de 12 dias (Leitura em 29/04/2013)	73
Figura 4.21 – Ao fim de 15 dias (Leitura em 02/05/2013)	73
Figura 4.22 – Ao fim de 16 dias (Leitura em 03/05/2013)	73
Figura 4.23 – Ao fim de 19 dias (Leitura em 06/05/2013)	73
Figura 4.24 – Tipologia 2	75
Figura 4.25 – Face “A” / Tipologia 2 em câmara controlada (de 17/04/2013 a 07/05/2013)	76
Figura 4.26 – Ao fim de 2,5 horas (Leitura em 17/04/2013)	77
Figura 4.27 – Ao fim de 2,5 horas (Leitura em 17/04/2013)	77
Figura 4.28 – Ao fim de 5 horas (Leitura em 17/04/2013)	77
Figura 4.29 – Ao fim de 5 horas (Leitura em 17/04/2013)	77
Figura 4.30 – Ao fim de 1 dia (Leitura em 18/04/2013)	77
Figura 4.31 – Ao fim de 1 dia (Leitura em 18/04/2013)	77

Figura 4.32 – Ao fim de 2 dias (Leitura em 19/04/2013)	77
Figura 4.33 – Ao fim de 2 dias (Leitura em 19/04/2013)	77
Figura 4.34 – Ao fim de 5 dias (Leitura em 22/04/2013)	77
Figura 4.35 – Ao fim de 5 dias (Leitura em 22/04/2013)	78
Figura 4.36 – Ao fim de 6 dias (Leitura em 23/04/2013)	78
Figura 4.37 – Ao fim de 6 dias (Leitura em 23/04/2013)	78
Figura 4.38 – Ao fim de 7 dias (Leitura em 24/04/2013)	78
Figura 4.39 – Ao fim de 7 dias (Leitura em 24/04/2013)	78
Figura 4.40 – Ao fim de 9 dias (Leitura em 26/04/2013)	78
Figura 4.41 – Ao fim de 9 dias (Leitura em 26/04/2013)	78
Figura 4.42 – Ao fim de 12 dias (Leitura em 29/04/2013)	78
Figura 4.43 – Ao fim de 12 dias (Leitura em 29/04/2013)	78
Figura 4.44 – Ao fim de 13 dias (Leitura em 30/04/2013)	79
Figura 4.45 – Ao fim de 13 dias (Leitura em 30/04/2013)	79
Figura 4.46 – Ao fim de 15 dias (Leitura em 01/05/2013)	79
Figura 4.47 – Ao fim de 16 dias (Leitura em 02/05/2013)	79
Figura 4.48 – Ao fim de 16 dias (Leitura em 02/05/2013)	79
Figura 4.49 – Ao fim de 17 dias (Leitura em 03/05/2013)	79
Figura 4.50 – Ao fim de 20 dias (Leitura em 06/05/2013)	79
Figura 4.51 – Ao fim de 20 dias (Leitura em 06/05/2013)	79
Figura 4.52 – Ao fim de 21 dias (Leitura em 07/05/2013)	79
Figura 4.53 – Tipologia 3	81
Figura 4.54 – Face “A” / Tipologia 3 em câmara controlada (de 12/06/2013 a 02/07/2013)	82
Figura 4.55 – Ao fim de 1 dia (Leitura em 12/06/2013)	83
Figura 4.56 – Ao fim de 1 dia (Leitura em 12/06/2013)	83
Figura 4.57 – Ao fim de 1 dia (Leitura em 12/06/2013)	83
Figura 4.58 – Ao fim de 2 dias (Leitura em 13/06/2013)	83
Figura 4.59 – Ao fim de 2 dias (Leitura em 13/06/2013)	83
Figura 4.60 – Ao fim de 3 dias (Leitura em 14/06/2013)	83
Figura 4.61 – Ao fim de 3 dias (Leitura em 14/06/2013)	83
Figura 4.62 – Ao fim de 6 dias (Leitura em 17/06/2013)	83
Figura 4.63 – Ao fim de 6 dias (Leitura em 17/06/2013)	83

Figura 4.64 – Ao fim de 7 dias (Leitura em 18/06/2013)	84
Figura 4.65 – Ao fim de 7 dias (Leitura em 18/06/2013)	84
Figura 4.66 – Ao fim de 8 dias (Leitura em 19/06/2013)	84
Figura 4.67 – Ao fim de 9 dias (Leitura em 20/06/2013)	84
Figura 4.68 – Ao fim de 9 dias (Leitura em 20/06/2013)	84
Figura 4.69 – Ao fim de 10 dias (Leitura em 21/06/2013)	84
Figura 4.70 – Ao fim de 10 dias (Leitura em 21/06/2013)	84
Figura 4.71 – Ao fim de 13 dias (Leitura em 24/06/2013)	84
Figura 4.72 – Ao fim de 13 dias (Leitura em 24/06/2013)	84
Figura 4.73 – Ao fim de 14 dias (Leitura em 25/06/2013)	85
Figura 4.74 – Ao fim de 14 dias (Leitura em 25/06/2013)	85
Figura 4.75 – Ao fim de 15 dias (Leitura em 26/06/2013)	85
Figura 4.76 – Ao fim de 17 dias (Leitura em 28/06/2013)	85
Figura 4.77 – Ao fim de 20 dias (Leitura em 01/07/2013)	85
Figura 4.78 – Ao fim de 20 dias (Leitura em 01/07/2013)	85
Figura 4.79 – Tipologia 4	86
Figura 4.80 – Face “B” / Tipologia 4 em câmara controlada (de 16/09/2013 a 27/09/2013)	87
Figura 4.81 – Ao fim de 1 hora (Leitura em 16/09/2013)	88
Figura 4.82 – Ao fim de 1 dia (Leitura em 17/09/2013)	88
Figura 4.83 – (Pormenor de proteção do provete em 18/09/2013)	88
Figura 4.84 – Ao fim de 3 dias (Leitura em 19/09/2013)	88
Figura 4.85 – Ao fim de 4 dias (Leitura em 20/09/2013)	88
Figura 4.86 – Ao fim de 7 dias (Leitura em 23/09/2013)	88
Figura 4.87 – Ao fim de 8 dias (Leitura em 24/09/2013)	88
Figura 4.88 – Ao fim de 9 dias (Leitura em 25/09/2013)	88
Figura 4.89 – Ao fim de 10 dias (Leitura em 26/09/2013)	88
Figura 4.90 – Ao fim de 11 dias (Leitura em 27/09/2013)	89
Figura 4.91 – Ao fim de 11 dias (Leitura em 27/09/2013)	89
Figura 4.92 – Pormenor de localização na câmara de cura	89
Figura 4.93 – Altura máxima de água absorvida em todas as tipologias ensaiadas no provete em ambiente natural e em câmara controlada	97
Figura 4.94 – Altura média de água absorvida em todas as tipologias ensaiadas no provete em câmara controlada	98

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Fatores que condicionam as humidades ascensionais. (Adaptado de [5])	18
Quadro 2.2 – Classificação dos poros em função do diâmetro segundo IUPAC – (International Union of Pure and Applied Chemistry)	22
Quadro 2.3 – Configurações dos revestimentos analisados (parede monolítica de pedra com 0,40 m de espessura). [5]	24
Quadro 2.4 – Tipos e características dos produtos utilizados nas barreiras químicas. [5]	35
Quadro 2.5 – Principais tipos de produtos e respetiva forma de aplicação. [5]	36
Quadro 2.6 – Sistemas de eletro-osmose ou eletro-osmóticos. [5]	38
Quadro 2.7 – Limitações e eficácia das várias técnicas de tratamento da humidade ascensional. [5]	41
Quadro 4.1 – Face “A” / Tipologia 1.a) em ambiente natural (de 18/02/2013 a 15/03/2013).	68
Quadro 4.2 – Face “B” / Tipologia 1.b) em câmara controlada (de 17/04/2013 a 07/05/2013).	71
Quadro 4.3 – Quadro 4.3 — Face “A” / Tipologia 2 em câmara controlada (de 17/04/2013 a 07/05/2013).	75
Quadro 4.4 – Face “A” / Tipologia 3 em câmara controlada (de 10/06/2013 a 02/07/2013).	81
Quadro 4.5 – Face “B” / Tipologia 4 em câmara controlada (de 16/09/2013 a 27/09/2013).	86
Quadro 4.6 – Resultados obtidos nas diferentes tipologias ensaiadas no provete em câmara controlada.	96

1 – INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e Objetivos

O homem, ao longo dos tempos, tem demonstrado inteligência e sagacidade na atividade de construção de edifícios, tirando partido das melhores e intrínsecas características dos materiais existentes no local que o rodeia. Daí que tenham existido ao longo dos tempos inúmeras soluções diferenciadas com o mesmo propósito, forçosamente adaptadas ao seu meio ambiente.

A água sob diversos estados e como agente natural de degradação das construções, tem sido um constante desafio perante a necessidade de preservação e satisfação das mais elementares exigências humanas de habitabilidade nas edificações.

Assim, evidentemente que a água – sob múltiplos estados naturais e através de diferentes mecanismos – é um fator muito ativo e preponderante na degradação dos edifícios.

Logo, o estudo do comportamento de materiais e elementos diversos empregues na construção, nomeadamente face à humidade, torna-se crucial para a caracterização do seu desempenho.

De acordo com Freitas [1], as humidades nas construções, em geral, e nas paredes, em particular, afetam os parâmetros no que se refere à durabilidade, à estanquidade, à degradação do aspeto, bem como ao desempenho térmico dos materiais e elementos de construção.

Em Portugal tal como na Europa tem existido uma grande preocupação e sensibilização de diversas entidades científicas e universitárias, em prol da conservação e reabilitação do património edificado, com ética e know-how próprios, superando a tradição e saber rústico.

Dentro desse prisma é importante continuar a examinar e, conseqüentemente, a acrescentar conhecimento através de novas pesquisas que permitam elaborar novas soluções para tratamento e eliminação dos fenómenos associados às humidades ascensionais.

A presente dissertação foi realizada no âmbito do Mestrado em Construção e Reabilitação do Instituto Superior Técnico, apontando como objetivos o estudo e experimentação de diversas tipologias em provete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica e areia, de forma a analisar o seu comportamento face à possibilidade de absorção capilar sem qualquer tipo de proteção, comparando-o com os vários métodos de proteção preconizados.

1.2 Metodologia

No âmbito da dissertação pretendeu-se estudar, experimentalmente, uma solução técnica no tratamento das humidades ascensionais em paredes de alvenaria de edifícios antigos, com a aplicação de medidas de fácil utilização e com materiais simples e económicos.

Para o efeito foram realizados ensaios no Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico – sobre um provete de parede de alvenaria ordinária de pedra e argamassa de cal hidráulica e areia – com condições de simulação de paredes de edifícios antigos e de forma a implementar soluções técnicas para tratamento e prevenção das humidades ascensionais.

A investigação incidiu sobre um provete de parede de alvenaria ordinária de pedra e argamassa de cal hidráulica e areia, construído com dimensões suficientes para a simulação de condições reais.

Optou-se por fabricar todas as argamassas de cal hidráulica e areia, com os mesmos tipos de materiais, quer quanto à cal hidráulica natural (NHL 5), quer quanto às areias empregues (amarela e do rio), tidos como os mais comumente empregues à época.

Assim, quer na construção do provete de parede de alvenaria ordinária de pedra e argamassa de cal hidráulica, areia e água, quer nos rebocos construídos a posteriori, as argamassas empregues tiveram o mesmo traço volumétrico 1:3:1.

Foram realizados diversos ensaios no provete e respectivas análises comparativas, designadas por tipologia 1.a), tipologia 1.b), tipologia 2, tipologia 3 e tipologia 4.

Foram efetuadas observações diárias quanto ao progresso das humidades ascensionais na face principal do provete, quer sem reboco, quer com reboco, desenhando-se as linhas de fronteira entre as superfícies húmidas e as superfícies secas.

Mediram-se diariamente as alturas máximas das superfícies húmidas assinaladas na respetiva face do provete, até se atingir uma estabilidade nos resultados, num período mínimo não inferior a 5 (cinco) dias.

O normal progresso do trabalho e o usufruto de todo o esforço desenvolvido proporcionaram um conjunto de resultados satisfatórios face à solução técnica ensaiada no tratamento das humidades ascensionais em paredes de alvenaria de edifícios antigos.

1.3 Estrutura do Documento

O presente trabalho é composto por cinco capítulos, a saber:

Capítulo 1 - Introdução

Este capítulo apresenta uma introdução ao tema de trabalho, situando o seu enquadramento e indicando os objetivos propostos na dissertação, bem como uma estrutura associada.

Capítulo 2 – Estado da arte

Este capítulo apresenta uma natureza essencialmente teórica, no qual se analisam os problemas das humidades ascensionais e as causas associadas, bem como os mecanismos fundamentais de fixação da humidade.

Cap. 1 – Introdução

Apresentam-se também todas as manifestações e consequências da humidade ascensional nas construções.

Por último analisam-se os métodos existentes / mais habituais de prevenção e reparação / eliminação das humidades ascensionais.

Capítulo 3 – Programa experimental

Este capítulo apresenta uma natureza experimental, no qual se descreve o método de fabrico do provete, respetivas geometrias, bem como o procedimento dos ensaios e seus resultados obtidos.

Capítulo 4 – Apresentação e discussão dos resultados experimentais

Este capítulo apresenta todos os resultados obtidos, bem como realiza uma análise comparativa dos mesmos, relativamente às diferentes tipologias de ensaios no provete.

Capítulo 5 – Conclusões e perspectivas de desenvolvimentos futuros

Este capítulo apresenta as conclusões finais, bem como as perspectivas de trabalhos futuros associados ao mesmo tema.

Bibliografia do Capítulo

[1] Freitas, Vasco Peixoto de – “Transferência de Humidade em Paredes de Edifícios – Análise do Fenómeno da Interface”. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, 1992.

2 – ESTADO DA ARTE

2.1 Problema da humidade ascensional / descrição física do fenómeno

Neste capítulo pretende-se analisar o problema da humidade ascensional em paredes de edifícios antigos, suas causas, suas manifestações e consequências, e por último abordar as medidas de prevenção e mitigação do fenómeno.

De acordo com Henriques [2] a ação da humidade nos edifícios tem sido reconhecida como um fator de extrema importância, suscetível de conduzir à ocorrência de anomalias capazes de impedirem a satisfação cabal das mais elementares exigências de habitabilidade das edificações.

As consequências sociais, culturais e económicas das manifestações da humidade têm vindo a assumir uma relevância crescente, traduzida numa maior preocupação por aqueles três tipos de valores. Em termos exigenciais o enfoque principal passou a estar orientado para as exigências de habitabilidade, traduzidas por conceitos como a estanquidade à água, o conforto higro-térmico, o conforto acústico, etc.

De acordo com Magalhães [3] a água vem sendo identificada como o agente de deterioração que mais afeta os materiais de alvenaria. Talvez de maior importância ainda seja o facto de a presença de humidade ser condição necessária para a ação de outros agentes deteriorantes (pois por exemplo: os gases poluentes são prejudiciais quando dissolvidos na água; os fenómenos de eflorescências dependem da migração de sais dissolvidos na água; o crescimento biológico dos organismos requer a presença de humidade) e muitos outros exemplos de fenómenos de degradação estão associados à humidade.

Assim, a água é a causa primária de muitas anomalias e causa secundária de muitas outras.

De acordo com Pinho [4] a água é, sem dúvida, o principal agente causador de desagregações das paredes; dado que as humidades infiltradas procuram e encontram os seus pontos mais fracos (fendas e vazios), criando para tal uma rede de percursos preferenciais no interior dos elementos, normalmente através das juntas de argamassa entre pedras ou tijolos.

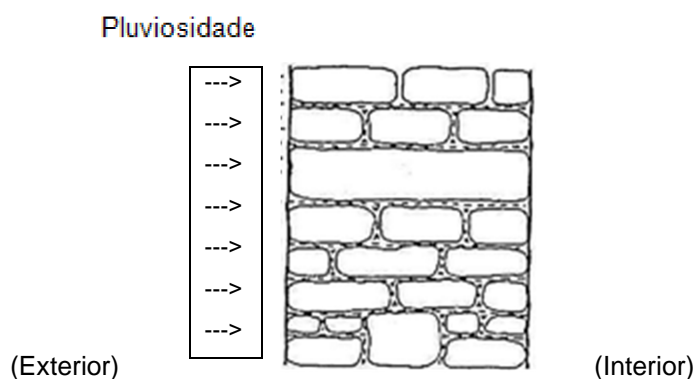


Figura 2.1 – Modelo de comportamento de uma parede de alvenaria em relação à humidade. [4]

De acordo com Freitas *et al* [5] a humidade constitui uma das principais causas de degradação dos edifícios, nomeadamente a humidade ascensional proveniente do solo que por capilaridade migra através dos materiais porosos que constituem as paredes e pavimentos dos edifícios.

Os mecanismos que condicionam o transporte da humidade em elementos de construção são complexos. A difusão e os movimentos convectivos condicionam o transporte em fase de vapor, enquanto a capilaridade, a gravidade e o efeito dos gradientes de pressão externas controlam a transferência de humidade em fase líquida.

Na prática, o transporte em fase líquida e o transporte em fase de vapor ocorrem em simultâneo e dependem das condições de temperatura, humidade relativa, precipitação, radiação solar e pressão do vento das ambiências (que definem as condições fronteira) e das características dos materiais.

Do ponto de vista físico considera-se que há três mecanismos fundamentais de fixação de humidade:

- higroscopicidade;
- condensação;
- capilaridade.

Estes três mecanismos permitem explicar, na generalidade dos casos, a variação do teor de humidade no interior dos materiais de construção com estrutura porosa.

2.1.1 Higroscopicidade

Por definição, higroscopicidade caracteriza a capacidade de um determinado material fixar água por adsorção e de a restituir ao ambiente em que se encontra, em função das variações de temperatura e da humidade relativa.

Por sua vez, adsorção é o processo pelo qual um material poroso retém moléculas de vapor de água na superfície dos poros, por forças químicas e / ou físicas. O teor de humidade que um material pode reter por adsorção depende, sobretudo, da sua higroscopicidade e da humidade relativa da ambiência.

Os materiais de construção podem apresentar vários graus de higroscopicidade, pelo que podem ser classificados em dois grandes grupos:

- Materiais higroscópicos – Quando a quantidade de água fixada por adsorção é relativamente importante (por exemplo, o betão celular, a madeira);
- Materiais não higroscópicos – Quando a massa é praticamente constante qualquer que seja a humidade relativa da ambiência onde se encontrem (por exemplo, o barro vermelho).

Os materiais correntemente usados em Engenharia Civil são higroscópicos, isto é, quando são colocados numa ambiência em que a humidade relativa varia, o seu teor de humidade também varia.

O fenómeno é representado graficamente na figura 2.2 e é atribuído às forças intermoleculares ou de Van der Waals que atuam na interface sólido-fluído, nomeadamente no interior dos poros.

A humidade relativa (HR) define-se como sendo o quociente entre a pressão de vapor existente e a pressão de saturação, para uma dada temperatura.

$$\varphi = HR = \frac{P_v}{P_{vs}} \quad (\text{Eq. 2.1}) \quad \text{em que: } P_v \text{ – Pressão parcial de vapor de água existente [Pa]}$$

P_{vs} – Pressão de saturação [Pa]

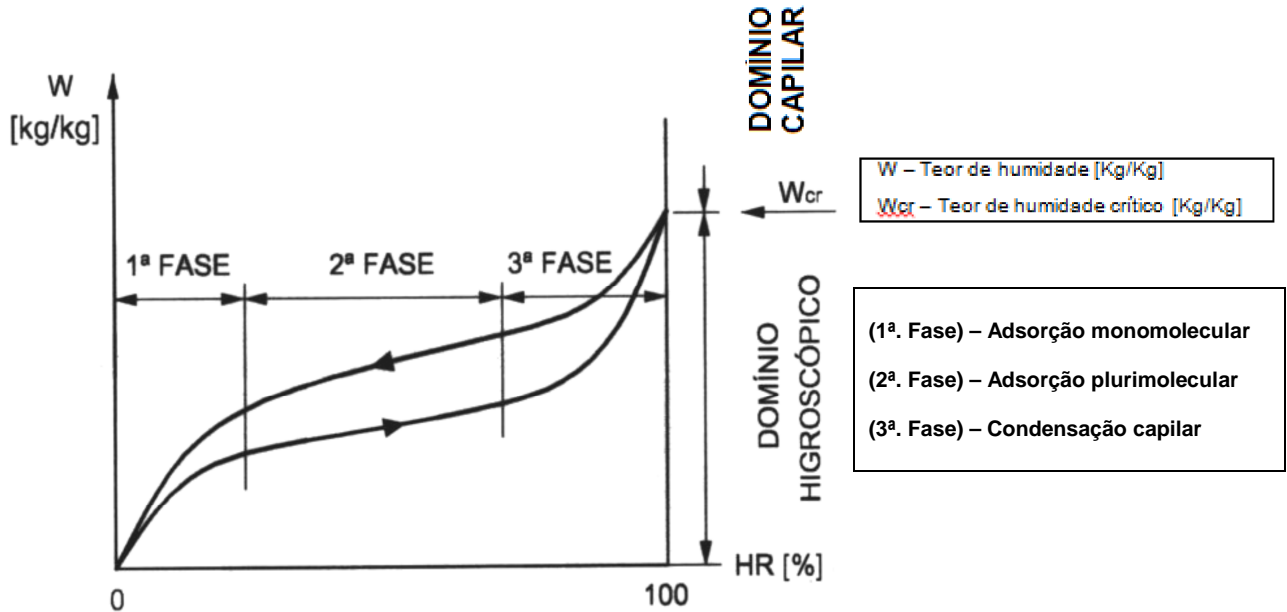


Figura 2.2 - Comportamento higroscópico de materiais de construção em função da humidade relativa. [1]

Numa primeira fase ocorre a fixação de uma camada de moléculas de água na superfície interior dos poros (adsorção monomolecular), a que se segue, numa segunda fase, a deposição de várias camadas de moléculas (adsorção plurimolecular).

Quando o diâmetro dos poros é suficientemente pequeno, há junção das camadas plurimoleculares (condensação capilar), sendo este fenómeno descrito pela teoria de Kelvin.

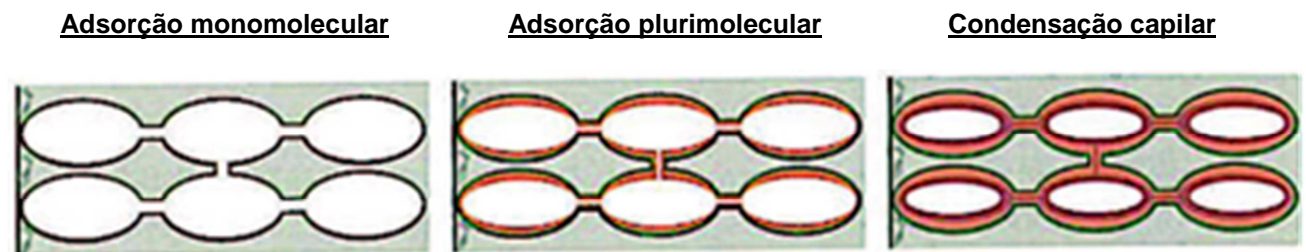


Figura 2.3 – Higroscopicidade. [5]

A influência da temperatura e a comprovação de histeresis nas curvas de adsorção e desadsorção continuam a ser motivo de estudo e pesquisa laboratorial pela comunidade científica.

2.1.2 Condensação

De acordo com a teoria da difusão de vapor, proposta por Glaser, qualquer que seja o ponto no interior do elemento de construção, a pressão de vapor P tem de ser necessariamente menor ou igual à pressão de saturação P_s . Quando a pressão é igual à pressão de saturação ocorrem condensações; o transporte que se fazia em fase vapor implica o aparecimento de uma fase líquida.

Conhecida a curva de distribuição de temperatura no interior de um elemento de construção, poder-se-á determinar, através do diagrama psicrométrico (figura 2.4), a curva das pressões de saturação (figura 2.5).

Se esta curva tiver pontos coincidentes com a curva das pressões instaladas, haverá ocorrência de condensações internas.

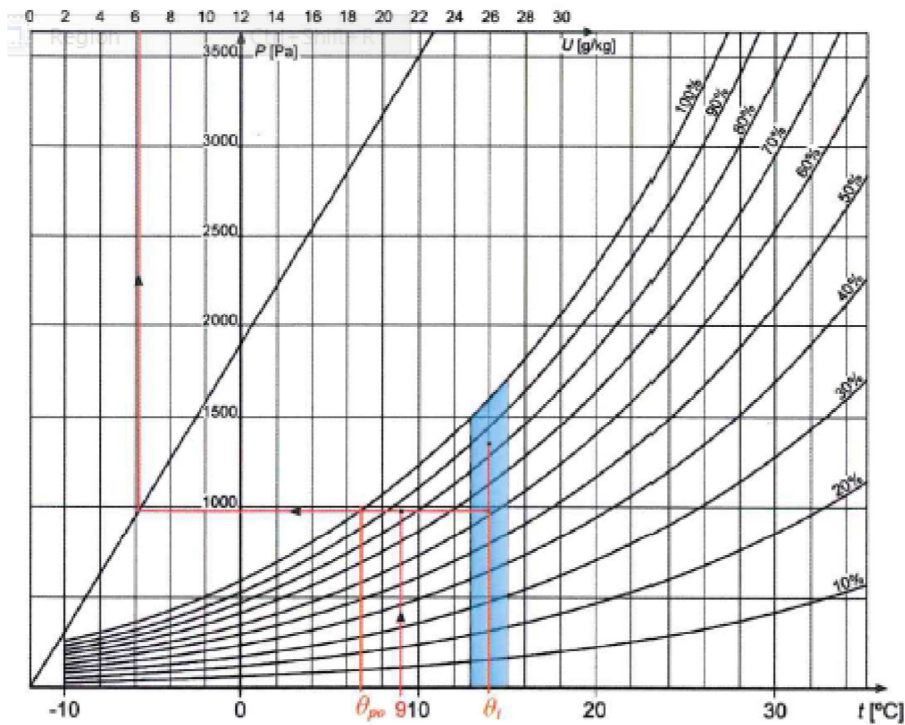


Figura 2.4 – Diagrama psicrométrico. [5]

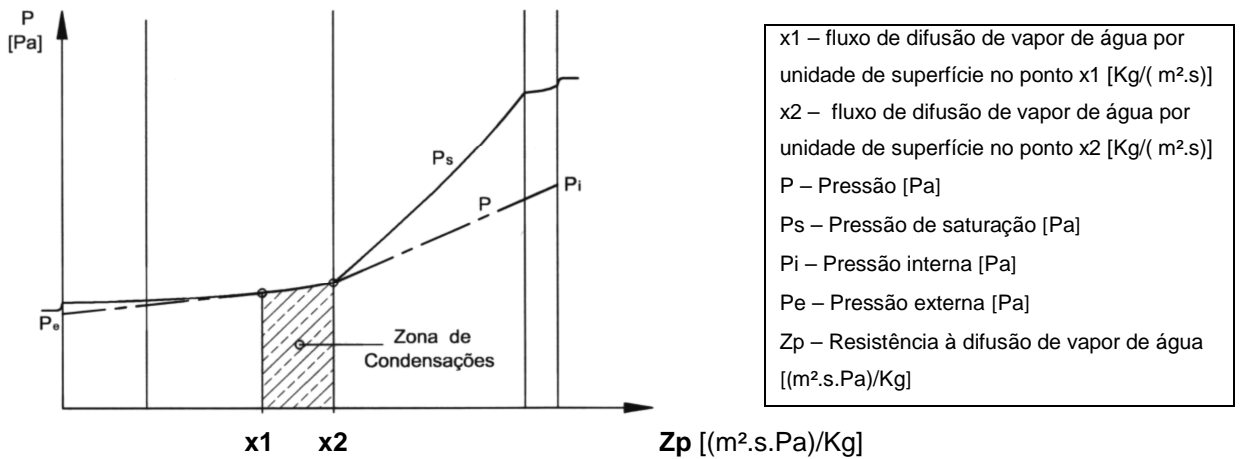


Figura 2.5 – Determinação da zona de ocorrência de condensações no interior de uma parede (Método de Glaser). [5]

A alimentação do fluxo condensado pode advir do vapor contido inicialmente nesse domínio e, fundamentalmente, do fluxo que se desloca da zona quente para a zona fria dos elementos de construção. Quando os teores de humidade gerados pela condensação são elevados, passa a haver fluxos de humidade em fase líquida no sentido contrário ao fluxo de vapor. Os três mecanismos descritos não são dissociáveis, podendo ainda juntar-se a ação da gravidade e das pressões exteriores geradas pelo vento, o que torna muito complexo o estudo e a modelização do movimento global da água no interior de materiais de construção.

2.1.3 Capilaridade

Por definição, capilaridade é o movimento vertical (comummente ascensional) da água proveniente de um solo saturado através de um elemento permeável. A água é absorvida pelos poros através da estrutura capilar dos diversos materiais que constituem a parede.

De acordo com Freitas *et al* [5] a capilaridade ocorre quando um material poroso é posto em contacto com água em fase líquida. A humidificação do material por capilaridade pode ser ilustrada através da figura 2.6.

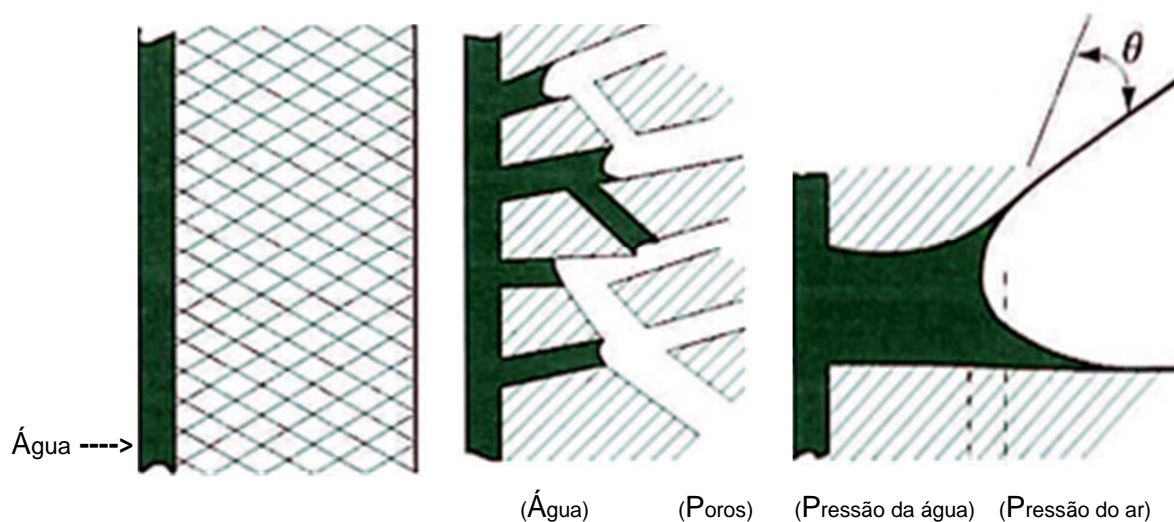
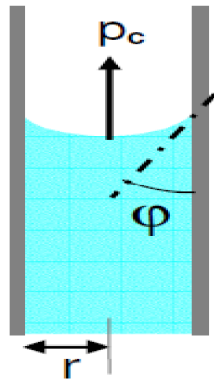


Figura 2.6 – O fenómeno da capilaridade. [5]

Este fenómeno resulta de propriedades particulares de humidificação dos grãos sólidos, gerando-se a formação de interfaces curvas entre o fluído (água) e o ar contido no interior dos poros.

De acordo com Gonçalves [6], o mecanismo de capilaridade ocorre quando as forças atractivas entre o líquido e o material sólido são mais forte do que as forças de coesão do líquido.

A pressão de sucção capilar, também chamada de pressão capilar ou stress de sucção (Künzel 1995), é dada pela lei de Jurin que diz respeito a um capilar ideal de formato cilíndrico (ver equação 2.2 e figura 2.7).



$$P_c = P_{ar} - P_{\acute{a}gua} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \phi}{r} \quad (\text{Eq. 2.2 - Lei de Jurin})$$

Figura 2.7 – Pressão capilar, num capilar cilíndrico. [6]

em que:

P_c – Pressão capilar, [N/m²]; $P_c = P_{ar} - P_{\acute{a}gua}$;

P_{ar} – Pressão do ar, [N/m²];

$P_{\acute{a}gua}$ – Pressão da água, [N/m²];

σ – Tensão superficial da água, [N/m²];

ϕ – Ângulo de humificação ou ângulo de contacto, [°];

r – Raio do capilar, [m]

De acordo com Freitas *et al* [5] a pressão capilar é função da temperatura e do teor de humidade, dado que σ varia com a temperatura e R com o teor de humidade. O desenvolvimento da curva de pressão capilar (sucção) depende da lei de distribuição, do raio dos poros e da sua variação.

A sucção é tanto menor quanto maior for o teor de humidade e anula-se para um teor de humidade igual ao teor de humidade máximo.

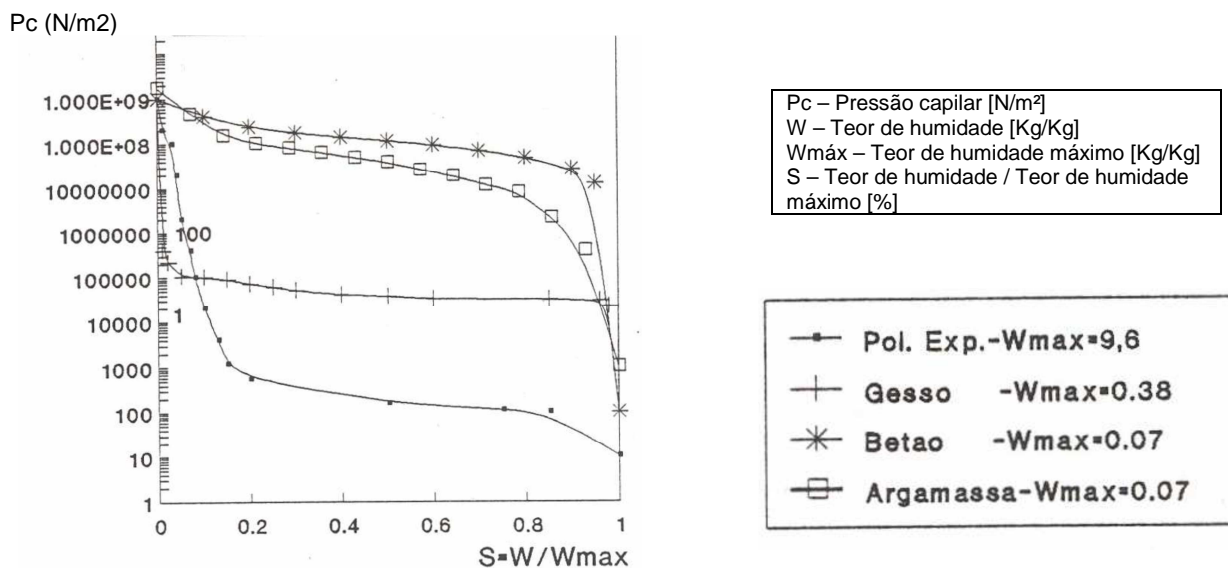


Figura 2.8 – Curva de pressão capilar obtida experimentalmente pelo Professor Vasco Freitas [5]

(Legenda)

De acordo com Gonçalves [6], o ângulo de contacto é o ângulo no qual a superfície do líquido encontra a superfície sólida.

O ângulo de contacto entre a água e uma superfície hidrófoba é maior que 90°. Pelo contrário, o ângulo de contacto entre a água e uma superfície hidrófila, (por exemplo nas paredes dos poros dos materiais de construção mais comuns) é menor que 90°, a que corresponde a um menisco côncavo e a uma pressão capilar negativa. Consequentemente forma-se um fluxo de água no capilar para o interior do material.

Num capilar cilíndrico, onde o ângulo de contacto é inferior a 90° (figura 2.7), a água sobe até que a pressão capilar é equilibrada pelo peso da coluna de água, sendo expresso pela seguinte equação:

$$P = \rho \cdot g \cdot H_0 \quad (\text{Eq. 2.3})$$

em que:

P – Pressão gerada pela coluna de água, [N / m²];

ρ – Densidade da água, [kg/m³];

g – Constante gravitacional, [m/s²];

H₀ – Altura de ascensão capilar em condições de equilíbrio, [m];

Combinando a equação (Eq. 2.2) com a equação (Eq. 2.3), a altura de ascensão capilar H₀ é obtida em função do raio do poro:

$$H_0 = - \frac{2 \cdot \sigma}{r \cdot \rho \cdot g} \cdot \cos \theta \quad (\text{Eq. 2.4})$$

Isto significa que tanto o esforço de sucção (Eq. 2.2), como a altura de ascensão capilar (Eq. 2.4) podem variar na proporção inversa do raio capilar.

2.2 Manifestações e consequências da humidade ascensional nas construções

De acordo com Henriques [2] as formas de manifestação de humidade podem ser apresentadas em seis grupos distintos:

- humidade de construção;
- humidade do terreno;
- humidade de precipitação;
- humidade de condensação;
- humidade devida a fenómenos de higroscopicidade;
- humidade devida a causas fortuitas.

Esta situação ideal de ocorrência isolada de cada um dos tipos de anomalias devidas à humidade não corresponde, no entanto, à generalidade dos casos em que aquelas manifestações patológicas se verificam.

Com efeito, é frequente que dois ou mais tipos de fenómenos apareçam associados, quer por existirem condições propícias para tal, quer porque, em certos casos, uns podem ser consequência de outros.

Esta associação de anomalias pode adulterar o diagnóstico de uma situação, sendo de extrema importância ter-se um conhecimento profundo dos variados mecanismos de manifestação de humidade, bem como das suas causas para que se realize o correto diagnóstico.

Torna-se, portanto, essencial conhecer tão bem quanto possível as diversas formas de manifestação da humidade e as respetivas causas e sintomas, a fim de viabilizar a realização do diagnóstico correto das anomalias motivadas por uma ou por várias causas.

De acordo com Magalhães [3] entende-se por fenómeno patológico – humidade – o aparecimento de um teor de água superior ao desejado num revestimento, seja na sua superfície (acabamento), seja na sua própria massa (reboco), manifestando-se sob a forma de manchas.

Portanto são anomalias de humidade, todas aquelas manchas mais ou menos permanentes, provocadas pela água contida na massa do revestimento ou no seu acabamento, bem como a água em forma de "gotas" sobre as superfícies dos revestimentos.

Descrevem-se a seguir as fontes mais comuns de humidade excessiva nos edifícios.

2.2.1 Humidade de construção

De acordo com Henriques [2] durante a construção dum edifício, verifica-se que uma enorme quantidade de materiais aplicados é confeccionada com recurso a água. Verifica-se ainda que em fase de construção, quer os materiais, quer o edifício, estão sujeitos à ação direta da chuva, o que aumenta o respetivo teor de água. Um edifício corrente pode conter no final da respetiva construção alguns milhares de litros de água em excesso.

Alguma desta água evapora rapidamente, mas outra parte contida no interior dos materiais demorará bastante mais tempo a desaparecer.

Esta situação verifica-se em materiais porosos, cujo processo de secagem se desenvolve em três etapas.

A primeira etapa equivale à evaporação da água superficial, ocorrendo rapidamente.

A segunda etapa equivale à evaporação da água existente nos poros de maiores dimensões, processo esse mais demorado, uma vez que a água está contida no interior do material, tornando-se necessário que a atravessasse – sob a forma de vapor – todos os poros até atingir a superfície.

Na terceira etapa o fenómeno é traduzido pela libertação de água existente nos poros de menores dimensões. Este processo é extremamente lento, decorrendo muitas vezes ao longo de vários anos.

A humidade de construção pode dar origem à ocorrência de anomalias generalizadas ou localizadas devidas, quer à evaporação da água existente, quer ao simples facto dos materiais terem um teor em água superior ao normal.

No primeiro caso a água ao evaporar-se pode provocar expansões ou destaques de alguns materiais ou, em virtude de fazer diminuir a temperatura superficial dos materiais, dar origem à ocorrência de condensações.

No segundo caso podem ocorrer, quer manchas de humidade, quer condensações, estas últimas motivadas pelo facto da condutibilidade térmica dos materiais variar em função do respetivo teor de água.

Duma forma geral as anomalias devidas a este tipo de humidades cessam ao fim dum período mais ou menos curto, o qual é função do tipo de utilização do edifício em causa – aquecimento e ventilação – e da região climática em que se inserem.

Em conclusão e de acordo com Magalhães [3] dum modo geral, a humidade de obra como anomalia, ou seja, como origem de outras anomalias, costuma aparecer já nas etapas finais da construção, designadamente quando são aplicados os acabamentos sem que antes tenha sido assegurada a secagem adequada dos suportes sobre os quais foram aplicados.

2.2.2 Humidade do terreno

De acordo com Henriques [2] as paredes dos pisos térreos e caves das edificações podem, em certos casos, apresentar problemas específicos provocados pela água do solo.

Com efeito, a maioria dos materiais de construção utilizados, quer no presente, quer no passado, têm valores de capilaridade por vezes elevados, dando origem a que a humidade possa migrar através deles.

Na ausência de qualquer espécie de barreiras estanques, esta migração pode ocorrer, quer horizontalmente, quer na vertical, o que se verifica quando se encontram reunidas as seguintes condições:

- existência de zonas das paredes em contacto com a água do solo;
- existência de materiais com elevada capilaridade nas paredes;

- inexistência ou deficiente posicionamento de barreiras estanques nas paredes.

A ascensão da água nas paredes – que pode ocorrer até alturas por vezes significativas – é função da porometria dos seus materiais constituintes – quanto menor o diâmetro dos poros, maior a altura teórica que a água pode atingir – da quantidade de água que está em contacto com a parede e das condições de evaporação da água que para aí tenha migrado.

Duma forma geral pode considerar-se que, a ascensão de água numa parede verificar-se-á até ao nível em que, a quantidade de água evaporada pela parede, compense aquela que é absorvida do solo por capilaridade.

É por esta razão que, sempre que são diminuídas as condições de evaporação numa parede – por exemplo utilizando um revestimento impermeável – a altura atingida pela água tem tendência a aumentar, até um nível em que se restabeleça um novo equilíbrio.

A altura que a água pode atingir numa dada edificação é variável, dependendo de fatores, tais como, a espessura, a época de construção e a orientação da parede em causa – as paredes viradas a Norte são mais afetadas que as orientadas a Sul – podendo alcançar, em casos extremos, mais do que 5 metros.

Considerando-se constantes as condições ambientes, e para uma dada constituição das paredes, quanto maior for a espessura, maior será a altura atingida pela humidade.

Consequentemente, os sais existentes no terreno e nos próprios materiais de construção, após terem sido dissolvidos, são transportados por capilaridade através da parede para níveis superiores.

Quando a água atinge as superfícies das paredes e se evapora, os sais cristalizam e ficam aí depositados.

Este fenómeno provoca uma progressiva colmatação dos poros e, consequentemente, uma redução da permeabilidade ao vapor de água dos materiais, o que dá origem a que o nível atingido pela ascensão capilar possa ainda aumentar.

Os sais depositados nas superfícies propiciam a ocorrência de fenómenos de higroscopicidade, os quais perduram mesmo após terem sido resolvidos os problemas devidos à ascensão de água nas paredes.

Em certas circunstâncias, a deposição dos sais à superfície pode dar origem à formação de eflorescências ou, quando a cristalização ocorra sob os revestimentos de parede, criptoflorescências.

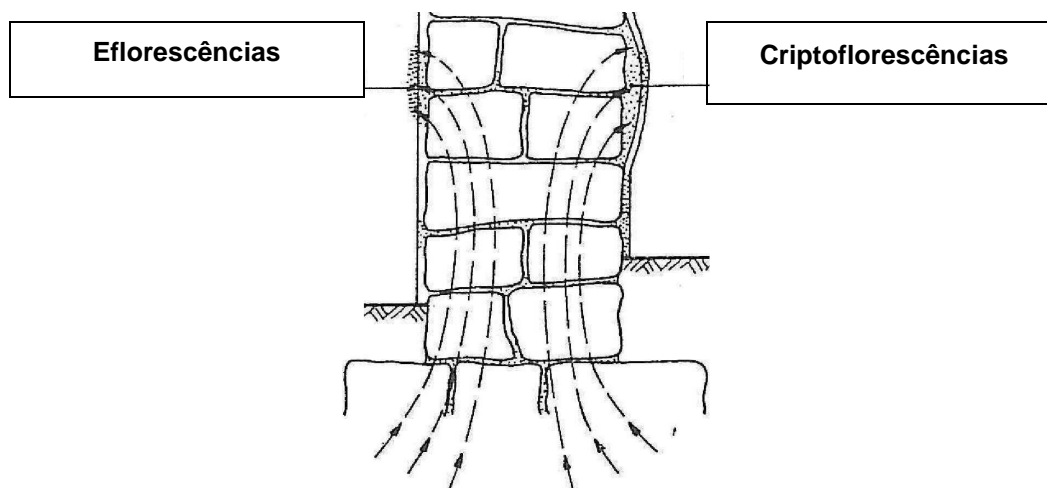


Figura 2.9 – Mecanismo de formação de eflorescências e criptoflorescências. [2]

De acordo com Magalhães [3] dum modo geral, este tipo de patologia caracteriza-se pela formação de uma substância de aparência cristalina ou filamentosa, geralmente de cor esbranquiçada e que aflora à superfície alterando o aspeto visual do revestimento. Por vezes, as formas geométricas dos cristais lembram flores, daí a utilização da palavra "florescência" para designar qualquer tipo de cristalização de sais.

Nos casos em que os sais cristalizam na superfície exterior do revestimento, o fenómeno denomina-se por eflorescência e nos casos em que a cristalização dos sais ocorre antes de estes chegarem à superfície, em alguma cavidade do próprio material, o fenómeno é denominado criptoflorescência.

Para que se produza o fenómeno da eflorescência é necessária a existência simultânea de três fatores:

- a presença de humidade;
- a existência de sais solúveis nos materiais constituintes do revestimento ou do suporte (tijolos, cal, água de amassadura, agregados, produtos de poluição, etc.);
- por fim, é necessária a pressão hidrostática para propiciar a migração da solução para a superfície.

O depósito de sais sobre a superfície depende do grau de solubilidade de cada composto e também da maior ou menor quantidade de água existente para o dissolver. Por outro lado, a variação da temperatura, a evaporação da água e a diminuição da humidade relativa do ambiente são fatores que podem conduzir a um aumento na concentração da solução e conseqüentemente favorecer a cristalização dos sais.

Para o desencadeamento do processo patológico importa ainda a porosidade do material, bem como seu coeficiente de absorção, já que estas características facilitam, para mais ou para menos, a quantidade de água que atravessa o material, que faz com que se acelere ou atrase o aparecimento da anomalia.

Em geral, este tipo de patologia modifica a estética e afeta o aspeto superficial da parede, mas ainda assim as eflorescências não são consideradas como um verdadeiro problema, enquanto são soluções ou cristais que atravessam uma camada de pintura porosa, e se apresentam só como um fenómeno superficial, não prejudicando a durabilidade do material.

Os danos consideráveis são causados quando os cristais são formados nos poros e nos vasos capilares dos materiais, ou seja, quando são formadas as criptoflorescências.

Estas sim têm um poder destruidor e podem afetar, em alguns casos, a vida útil do material, já que a cristalização se dá, em geral, com dilatação, implicando um impulso sobre a camada de material que cobre a cavidade, que tende, assim, a desagregar-se.

Além disso, a presença das criptoflorescências pode originar uma mudança do equilíbrio de humidade em todo paramento.

Em função do tipo de sal que cristaliza, podem tipificar-se as eflorescências:

- as que são compostas por carbonatos (cálcio, magnésio);
- por sulfatos (cálcio, magnésio, potássio, sódio);
- por cloretos (cálcio, magnésio, potássio) e;
- por nitratos (potássio, sódio, amónio).

De acordo com Henriques [2] no caso geral, e para além da ação dos sais referida, a evaporação de água numa parede húmida não provoca danos nas respetivas superfícies, desde que ocorra em permanência.

Nas zonas em que essa evaporação é intermitente, verificam-se erosões nos seus revestimentos.

É por esta razão que é visível em muitas paredes afetadas pela humidade do terreno, zonas em que as superfícies se encontram erodidas em resultado de evaporações intermitentes, cujos limites superior e inferior correspondem, respetivamente, às alturas máxima e mínima atingidas pela água em consequência de variações sazonais.

De acordo com Pinho [4] a repetição deste processo – criptoflorescência – nos sucessivos ciclos de secagem e molhagem conduz à rotura da alvenaria (pedra ou tijolo) que tende a destacar-se em lascas, ou ao empolamento, fendilhação e desagregação de rebocos existentes.

O mecanismo de alteração da parede compreende, assim, a formação das seguintes camadas distintas: uma crosta exterior, uma zona adjacente a esta crosta onde o material se apresenta desagregado e pulverulento, e uma zona interior, em que a pedra ou o tijolo poderá ter ou não algumas alterações.

A crosta exterior ao desagregar-se destaca-se facilmente, deixando exposta a camada subjacente, que passa a ser a nova camada superficial, ficando assim sujeita ao processo de destruição que afetou a anterior. A repetição deste processo, com ciclos alternados de molhagem e secagem, poderá conduzir a alterações graves na parede.

Às ações física (de desgaste) e química (de dissolução), pode ainda juntar-se um conjunto de outras reações químicas, principalmente quando se trata de águas agressivas, por exemplo, provenientes de roturas das redes de esgotos de águas residuais domésticas ou industriais.

Assim, a deposição de sais nas superfícies das paredes (eflorescências), ou entre a parede e o revestimento de reboco (criptoflorescências), com a formação de bolhas e empolamentos característicos, reflete a degradação da própria alvenaria.

Estas bolhas, que em muitos casos precedem a desagregação da alvenaria, surgem com frequência após intervenções inadequadas, onde se aplicam rebocos fortes (com elevado teor de cimento), pouco permeáveis, ou pinturas pouco permeáveis ao vapor; neste caso, as bolhas podem-se formar entre o reboco e a pintura.

Em consequência desta desagregação, as características mecânicas das alvenarias são geralmente modificadas, sendo principalmente afetadas as capacidades de resistência à compressão e ao corte, devido às sucessivas reduções das suas secções.

Nas figuras 2.10 e 2.11 representam-se manifestações do fenómeno de eflorescências, nomeadamente numa parede interior numa casa de habitação (piso térreo) em Alandroal.



Figuras 2.10 e 2.11 – Anomalia verificada numa parede interior de alvenaria de xisto numa casa de habitação (piso térreo) no concelho de Alandroal.

Nas figuras 2.12 a 2.15 representam-se manifestações do fenómeno de criptoflorescências, no paramento interior duma parede exterior dum refeitório (piso térreo) em Cascais.



Figuras 2.12 e 2.13 – Anomalia verificada no paramento interior duma parede exterior dum refeitório (piso térreo) no concelho de Cascais.



Figuras 2.14 e 2.15 – Anomalia verificada no paramento interior duma parede exterior dum refeitório (piso térreo) no concelho de Cascais.

De acordo com Freitas *et al* [5] a água proveniente do solo pode provocar degradação do desempenho de paredes e pavimentos.

Apresentam-se num quadro 2.1 os fatores que condicionam as humidades ascensionais.

Quadro 2.1 – Fatores que condicionam as humidades ascensionais. (Adaptado de [5])

<u>A humidade ascensional depende dos seguintes fatores:</u>
- Condições climáticas das ambiências (temperatura e humidade relativa)
- Insolação
- Presença de sais
- Porosidade e porometria dos materiais
- Espessura da parede
- Natureza dos materiais de revestimento

- Condições climáticas das ambiências

As condições climáticas das ambiências condicionam o processo de secagem e têm uma grande influência no nível atingido pela humidade ascensional.

Em locais com elevada humidade relativa, a evaporação far-se-á com maior dificuldade e conseqüentemente haverá uma maior progressão da frente húmida.

Pelo contrário, quando a humidade relativa é baixa, a evaporação será máxima e a altura de progressão de humidade será menor (figura 2.16).

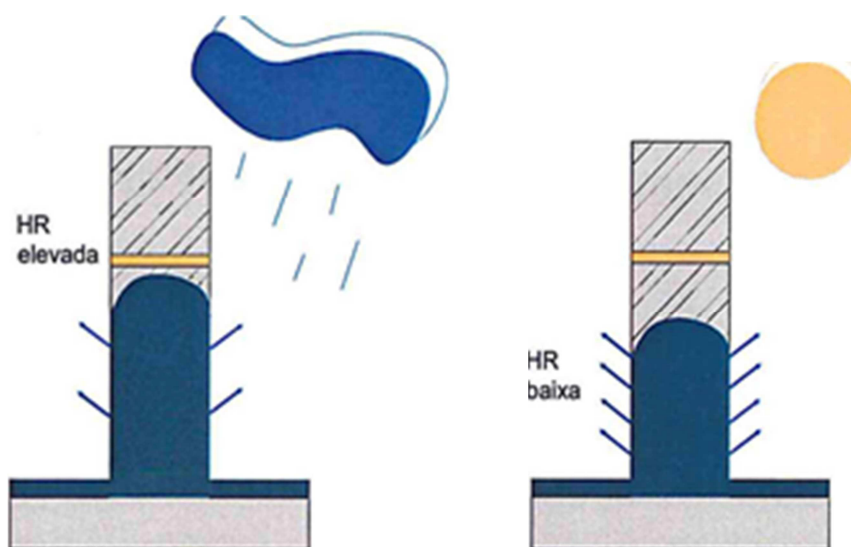


Figura 2.16 — Influência das condições climáticas na progressão da humidade. [7]

O fluxo de secagem pode ser definido pela seguinte expressão:

$$g = \beta \cdot (Cs' - Ca') \quad (\text{Eq. 2.5})$$

em que:

g – Densidade de fluxo, [kg/(m².s)];

β – Coeficiente de transferência superficial de humidade, [m/s];

Cs' – Concentração de vapor de água à superfície, [kg/m³];

Ca' – Concentração de vapor de água no ar, [kg/m³].

Não existindo grande diferença entre a temperatura do ar interior e a da superfície interior das paredes, para uma humidade relativa elevada, a diferença de concentração $Cs' - Ca'$ tende para zero, assim como o fluxo de secagem.

- Insolação

Numa construção que apresente idênticas condições climáticas, podem observar-se diferentes alturas de progressão da frente húmida de acordo com a orientação geográfica, a insolação e a ventilação da parede. A insolação e o coeficiente de absorção da radiação, fazem alterar a temperatura superficial e a distribuição da temperatura, com consequências no processo de secagem.

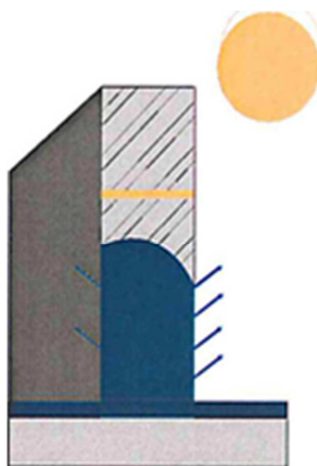


Figura 2.17 — A influência da insolação e orientação na progressão da humidade nas alvenarias. [7]

- Presença de sais

A cristalização dos sais é um dos mecanismos principais da degradação da pedra. Este mecanismo de deterioração é baseado na pressão exercida pela formação de sal nas estruturas porosas, com aumento de volume, e é dependente do tipo de sais envolvidos e do tamanho e arranjo dos poros.

A temperatura poderá ter alguma influência no processo, especialmente porque a solubilidade dos sais depende da temperatura.

Quando a pressão excede a força interna do material e, particularmente, quando as formações de sal resultam de ciclos de cristalização e de dissolução em resposta aos níveis de flutuação da humidade, perdas de material tornar-se-ão tipicamente aparentes.

Os sais mais característicos são:

- Os carbonatos que sob a ação de CO_2 se transformam em bicarbonatos;
- Os cloretos que absorvem elevadas quantidades de água;
- Os nitratos de origem orgânica, sendo o mais comum – o nitrato de cálcio – que cristaliza a $25\text{ }^\circ\text{C}$ e 50% de humidade relativa;
- Os sulfatos, higroscópicos e solúveis, que cristalizam com um aumento do seu volume. Os mais comuns são o sulfato de cálcio, de sódio e de magnésio.

Quando se trata de anomalias provocadas pela presença de sais, os sintomas de degradação dos revestimentos são variados: alterações superficiais (eflorescências ou manchas de humidade), fendilhação, formação de crostas, separação dos materiais da alvenaria em camadas (delaminação,

esfoliação, destacamento de camadas de aplicação dos rebocos, etc.), perda de coesão (pulverulência, por exemplo, de elementos de tijolo cerâmico ou de pedra, arenização de argamassas, etc.) ou formação de vazios (alveolização).

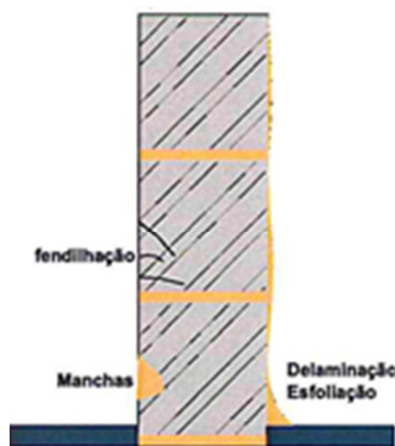


Figura 2.18 — A presença de sais e alguns dos seus efeitos. [7]

- Porosidade e porometria

A porosidade de um material pode ser definida como sendo a razão entre o volume total de vazios (poros e canais) e o seu volume total aparente. Praticamente todos os materiais de construção apresentam porosidade aberta (figura 2.19), sendo a facilidade de embebição dos materiais pela água diretamente relacionada com a sua porosidade.

No caso de a porosidade ser fechada (figura 2.20), em que os poros do material não comunicam entre si, situação menos comum, o material é impermeável, não permitindo a transferência de água no seu interior.

Materiais com porosidade fechada são interessantes para a humidade ascensional pois constituem uma barreira hídrica. Os materiais de porosidade aberta conduzem a água por capilaridade, que é tanto maior, quanto menor for o diâmetro dos poros.

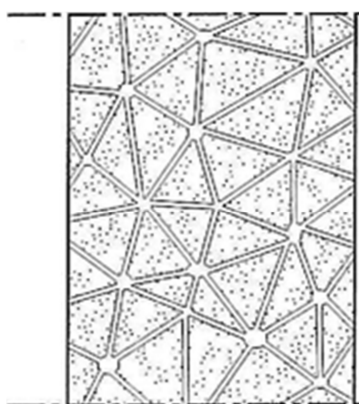


Figura 2.19 – Porosidade aberta. [5]

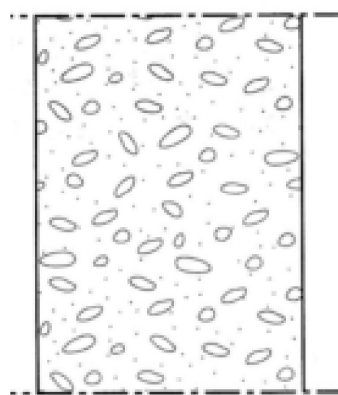


Figura 2.20 – Porosidade fechada. [5]

Os materiais de construção têm como característica estrutural a existência de poros na sua constituição.

A porosidade, como referido, exprime a relação entre o volume de vazios dos poros e o volume total do corpo, e pode ser definida pela equação:

$$\varepsilon = \frac{(V_a + V_l)}{V_t} \quad (\text{Eq. 2.6})$$

em que:

ε – Porosidade [%];

V_a – Volume de vazios [m³];

V_l – Volume da fase líquida [m³];

V_t – Volume total [m³].

De acordo com Magalhães [3] verifica-se que a maioria dos materiais de construção apresenta maior ou menor absorção de água, consoante a sua porosidade. No caso de a porosidade ser fechada, seria a situação mais desejável, uma vez que a apetência pela água é baixa, ficando o material protegido.

Se por outro lado, o material apresentar uma porosidade aberta, situação mais comum, há comunicação entre poros, por meio de tubos capilares, e o material apresenta-se permeável. Assim, apenas os materiais com porosidade aberta permitem a passagem de água no seu interior.

Por outro lado, a ascensão capilar é tanto maior quanto menor for o diâmetro dos tubos capilares (contrariando assim a lei dos vasos comunicantes). A configuração dos poros e dos canais do material vai influenciar, juntamente com o volume dos mesmos (porometria / porosidade), o poder de absorção de cada material.

Os poros são geralmente classificados em três grupos (quadro 2.2):

Quadro 2.2 — Classificação dos poros em função do diâmetro segundo IUPAC – (International Union of Pure and Applied Chemistry)

<u>Classificação</u>	<u>Diâmetro</u>
Microporos	Inferior a 2 μm
Mesoporos	2 μm a 50 μm
Macroporos	Superior a 50 μm
Nota: 1 μm = 10 ⁻⁹ m	

- Espessura da parede e natureza dos materiais de revestimento

A altura de progressão da humidade ascensional estabiliza quando o fluxo através da secção absorvente iguala a evaporação total da parede, isto é, a quantidade de água que “entra” por absorção vai ser igual à quantidade de água que “sai” por evaporação.

A espessura das paredes condiciona a altura atingida pela humidade ascensional.

Com base em estudos de simulação efetuados (figura 2.21) pode-se afirmar que a altura atingida pela frente húmida, quando se passa de uma espessura de 0,20 m para 1,00 m, aumenta significativamente.

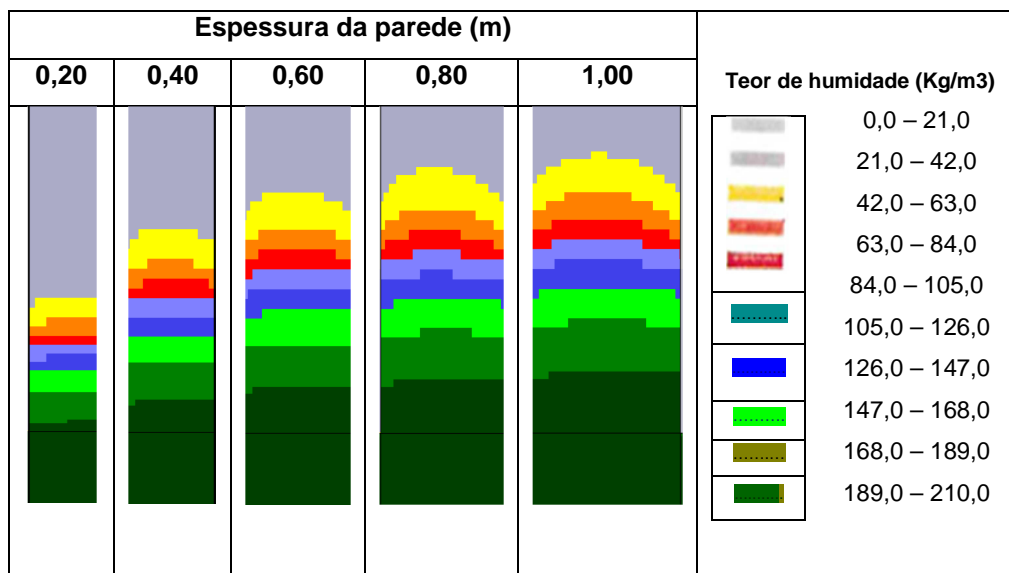


Figura 2.21 – Variação do teor de humidade ao longo da seção transversal em função da espessura da parede. [5]

De um modo geral, pode dizer-se que sempre que se impermeabiliza uma parede diminuem-se as condições de evaporação e, conseqüentemente, aumenta-se o nível de humidade ascensional na parede, até que este equilíbrio seja restabelecido, como se evidencia da figura 2.22.

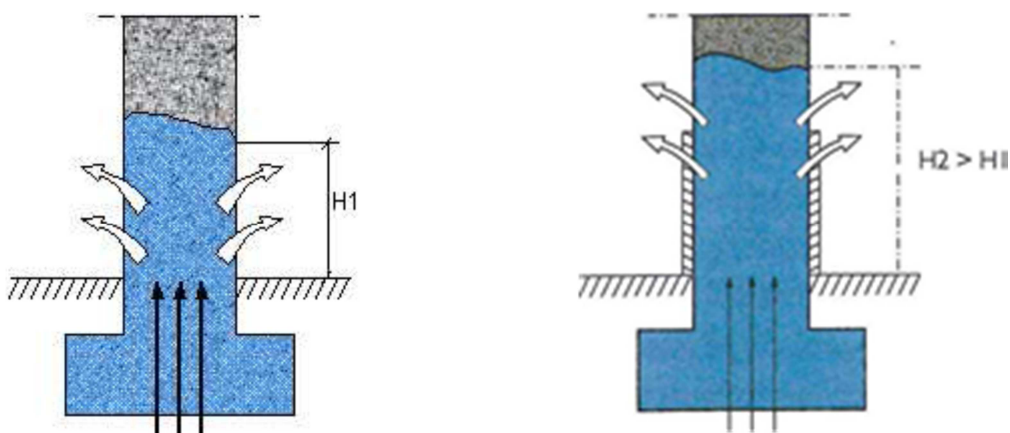


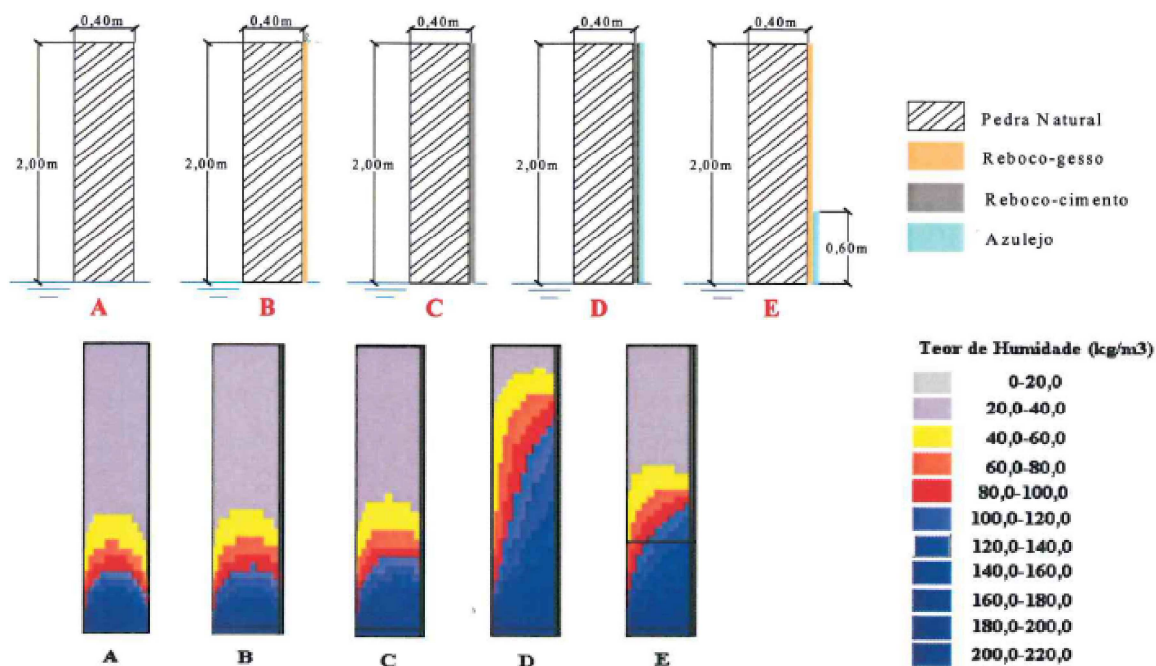
Figura 2.22 – Influência da colocação de material impermeável na humidade ascensional. [5]

Na figura 2.23 apresenta-se um estudo de sensibilidade sobre o nível atingido pela frente húmida em cinco configurações definidas no quadro 2.3.

Quadro 2.3 — Configurações dos revestimentos analisados (parede monolítica de pedra com 0,40 m de espessura). [5]

Ref ^a .	Configurações
A	Parede monolítica de pedra com 0,40 m sem revestimento.
B	Parede monolítica de pedra com 0,40 m com reboco à base de gesso numa das faces.
C	Parede monolítica de pedra com 0,40 m com reboco à base de ligantes hidráulicos numa das faces.
D	Parede monolítica de pedra com 0,40 m com reboco à base de ligantes hidráulicos, numa das faces, associada a azulejo.
E	Parede monolítica de pedra com 0,40 m com reboco à base de gesso numa das faces, associada a 60 cm de azulejo.

Os resultados são claros e permitem afirmar que, quanto menos permeável ao vapor é o revestimento (caso da configuração D com azulejo vitrificado), mais elevado é o nível atingido pela frente húmida.



Figuras 2.23 – Influência da colocação de revestimentos impermeáveis na humidade ascensional. [5]

De acordo com Henriques [2] para que possam ocorrer manifestações de humidade proveniente do terreno, é necessário que as paredes estejam em contacto com a água do solo, o que pode acontecer nas seguintes situações (figura 2.24):

- fundações das paredes situadas abaixo do nível freático;
- fundações das paredes situadas acima do nível freático em zonas cujo terreno tenha elevada capilaridade, provocando a ascensão da água existente a uma cota inferior;

- paredes implantadas em terrenos pouco permeáveis ou com pendentes viradas para as paredes, dando origem a que as águas da chuva, ou provenientes doutras fontes, possam deslizar sobre o terreno e entrar em contacto com aqueles elementos.

Constata-se, portanto, que existem basicamente dois tipos de fontes de alimentação de água às paredes, a cada um dos quais correspondem diferentes sintomatologias e soluções de reparação: águas freáticas (primeira e segunda situação) e águas superficiais (terceira situação).

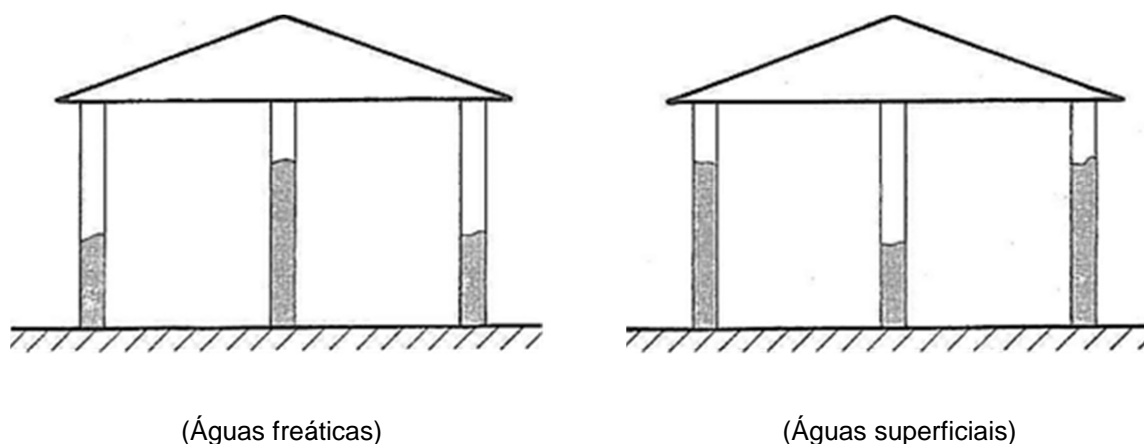


Figura 2.24 - Variação das alturas atingidas p/ humidade do terreno em paredes interiores e exteriores. [2]

Em conclusão, as anomalias devidas à presença de humidade do terreno caracterizam-se visualmente pelo aparecimento de manchas de humidade nas zonas das paredes junto ao solo, apresentando muitas vezes zonas erodidas na parte superior dessas manchas, e acompanhadas em certos casos pela formação de eflorescências ou criptoflorescências e de manchas de bolor ou vegetação parasitária, especialmente em locais com pouca ventilação.

O teor de água das paredes é decrescente com a altura acima do nível do solo, mantendo-se sensivelmente constante, a um dado nível, ao longo da espessura da parede.

Nas situações em que a humidade é proveniente das águas freáticas os fenómenos apresentam-se sensivelmente inalterados ao longo do ano, verificando-se que a altura das manchas, correspondentes às zonas húmidas, é aproximadamente constante em cada parede, sendo maior nas paredes interiores comparativamente com as exteriores.

As zonas erodidas das paredes, quando existam, apresentam pequenas amplitudes em altura.

Quando a humidade é proveniente de águas superficiais, os fenómenos apresentam variações durante o ano, sendo em geral mais gravosos no Inverno do que no Verão, e a altura das zonas húmidas pode variar consideravelmente ao longo das paredes, em especial nas exteriores, sendo em geral menor nas paredes interiores do que nas exteriores. As zonas erodidas das paredes apresentam uma grande amplitude em altura.

2.2.3 Humidade de precipitação

De acordo com Henriques [2] a chuva, por si só, não constitui uma ação especialmente gravosa para as paredes de edifícios, desde que a componente vento não lhe esteja associada. No entanto, e na maior parte das situações, a precipitação é acompanhada por uma dada intensidade do vento, o que dá origem a que as gotas da chuva passem a ter uma componente horizontal tanto maior quanto maior for a intensidade do vento. Quando a trajetória da chuva se afasta da vertical por efeito do vento, as paredes dos edifícios ficam sujeitas a uma ação de molhagem que pode constituir um importante fator de risco de humedecimento dos seus paramentos interiores. A ação da água da chuva sobre uma parede pode assumir diversas componentes. A energia cinética das gotas de água pode provocar a penetração direta, sempre que haja incidência dessas gotas em fissuras ou juntas mal vedadas. A ação continuada da chuva sobre a parede dá origem à formação de uma cortina de água que, ao escorrer pela superfície, pode penetrar nela por gravidade, em resultado da sobrepressão causada pelo vento, ou por ação da capilaridade dos materiais.

A penetração da água da chuva nas paredes é um fenómeno normal que não apresenta problemas se aqueles elementos tiverem sido concebidos para resistirem a este tipo de ações, impedindo que a água infiltrada atinja os paramentos interiores, como é o caso, por exemplo, das paredes duplas.

No entanto, as situações de ocorrência de anomalias devidas a este tipo de fenómenos são muito frequentes, em consequência de vários fatores, designadamente deficiências de conceção, existência de fissuração, etc.

O humedecimento das paredes por ação da chuva pode também originar anomalias não diretamente imputáveis àquelas ações. O abaixamento da temperatura superficial exterior das paredes pode contribuir, em certas circunstâncias, para um acréscimo do risco de ocorrência de condensações.

As anomalias devidas à ação da água da chuva manifestam-se através do aparecimento de manchas de humidade de dimensões variáveis e localização aleatória nos paramentos interiores das paredes exteriores, em correspondência com ocorrências de precipitação.

Essas manchas tendem a desaparecer quando cessam os períodos de chuva, não sendo visíveis quando o tempo se apresenta seco.

Nas zonas que sofreram humedecimento é frequente a ocorrência de bolores, eflorescências e criptoflorescências.

Quando se verifica este tipo de anomalias, o teor de água das paredes é, a um dado nível, crescente ao longo da espessura da parede, do interior para o exterior, sendo aproximadamente constantes nos paramentos exteriores.

Apesar das paredes duplas com caixa-de-ar constituírem uma solução eficaz para evitar a manifestação de anomalias devidas à penetração da água da chuva, verifica-se frequentemente a ocorrência deste tipo de problemas naquela classe de paredes.

Esta situação deve-se, na maior parte dos casos, às seguintes situações anómalas (figura 2.25):

- caixa de ar parcialmente obstruída com desperdícios de argamassa ou doutros materiais;
- estribos de ligação dos panos com inclinação para o interior;
- caleira de recolha das águas de infiltração obstruída, mal executada ou inexistente;
- orifícios de drenagem da caleira obstruídos, mal posicionados ou inexistentes.

(Exterior)

(Interior)

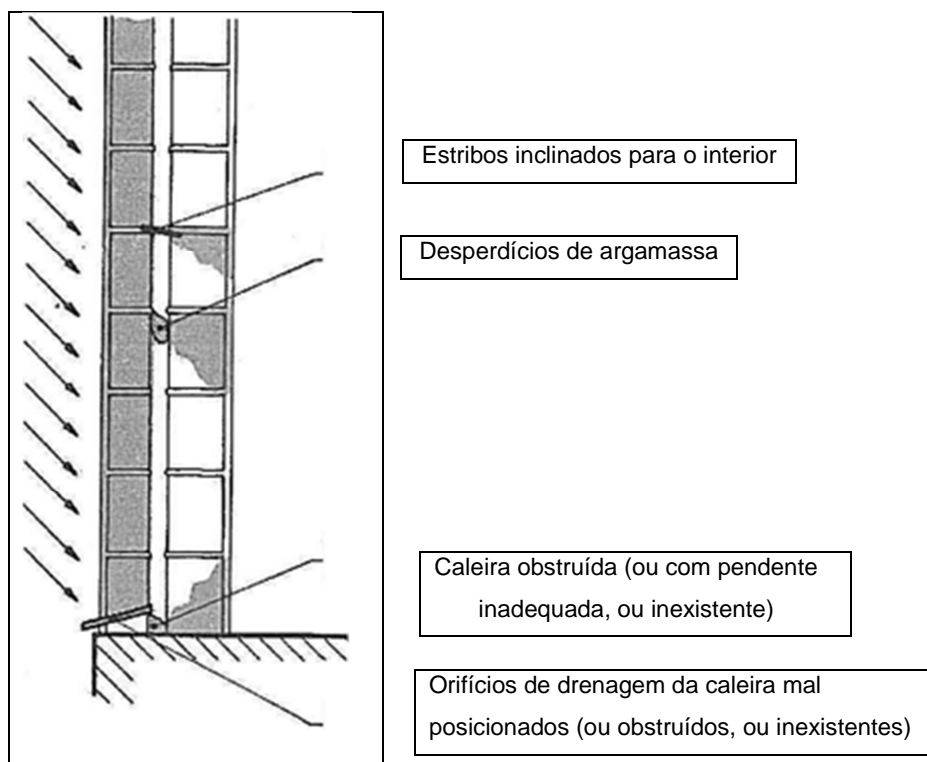


Figura 2.25 – Algumas causas de anomalias devidas a infiltrações de água em paredes duplas. [2]

2.2.4 Humidade de condensação

De acordo com Henriques [2] o ar é constituído por uma mistura de gases e por vapor de água.

Por definição, limite de saturação é a quantidade máxima de vapor de água que o ar pode conter, sendo variável em função da temperatura. Também por definição, a humidade relativa é a relação entre a quantidade de vapor de água que o ar contém (humidade absoluta) e o limite de saturação correspondente à temperatura a que o ar se encontra, sendo expressa em percentagem.

Na figura 2.4 apresenta-se um diagrama psicrométrico que relaciona a temperatura do ar com as respetivas humidades relativa e absoluta. Da sua análise ressalta que uma dada massa de ar poderá conter tanto mais vapor de água quanto maior for a temperatura.

Inversamente, também resulta que, para um dado valor da humidade do ar, a diminuição dessa temperatura implica um acréscimo da humidade relativa até à saturação, a partir da qual o vapor de água condensa.

O arrefecimento duma massa de ar pode provocar a condensação do vapor de água, sempre que seja atingido o limite de saturação correspondente a uma dada temperatura. No caso concreto do interior das edificações, esse arrefecimento pode ocorrer duma forma localizada, junto aos paramentos das paredes exteriores. Com efeito, em condições de inverno, as faces interiores das paredes exteriores encontram-se, em geral, a uma temperatura inferior à do ar ambiente.

A diminuição da temperatura superficial das paredes dá origem ao aumento da humidade relativa da camada de ar que contacta com elas, podendo provocar condensações. Outros fatores que podem minorar este risco são o acréscimo da temperatura do ar interior e a melhoria da ventilação dos espaços.

Este último aspeto é particularmente importante na medida em que as atividades humanas são sempre caracterizadas pela libertação de vapor de água, a qual varia em função das condições ambientes e do tipo de atividade. Um adulto médio libertará entre 45 g/h e 110 g/h, respetivamente em condições de repouso ou de trabalho leve, a uma temperatura de 20 °C. Paralelamente, as atividades domésticas tais como banhos, lavagens, cozinhados, promovem a libertação de quantidades significativas de vapor de água. Estima-se em cerca de 9.100 g por dia a produção de vapor de água numa habitação média ocupada por três adultos e três crianças.

O excesso de humidade no interior das edificações, ou é transportado para o exterior através da renovação do ar interior ou atravessando as paredes exteriores por difusão, ou condensa nos paramentos internos da envolvente exterior dos edifícios, primeiramente nas partes envidraçadas e posteriormente nas partes opacas.

Em geral considera-se que, se não ocorrerem condensações superficiais, 95 % da humidade produzida é evacuada através da renovação do ar e os restantes 5 % atravessam as paredes exteriores por difusão, podendo eventualmente provocar condensações no interior dessas paredes.

A ocorrência de condensações sobre os vidros permite dissipar, ainda que temporariamente, até 50% da humidade em excesso, sendo a restante evacuada com a renovação do ar e pela difusão através das paredes. As condensações superficiais verificar-se-ão inicialmente nos locais em que o isolamento térmico for menor, correspondentes no caso de paredes heterogéneas a elementos estruturais, parapeitos, nervuras, etc. Numa fase posterior poder-se-ão estender a zonas de superfície corrente, se o isolamento térmico destas não for suficiente ou se a ventilação dos locais for fraca ou inexistente, como por vezes sucede atrás de móveis.

Como regra geral poder-se-á afirmar que a ocorrência de condensações superficiais em paredes depende dos seguintes fatores:

- condições de ocupação, das quais depende a produção de vapor nas edificações;
- temperatura ambiente interior;
- ventilação dos locais;
- isolamento térmico das paredes.

2.2.5 Humidade devida a fenómenos de higroscopicidade

De acordo com Henriques [2] um largo número de materiais de construção correntes apresenta na sua constituição sais solúveis em água, o mesmo acontecendo nos solos, especialmente em locais ricos em matérias orgânicas.

Quando as paredes são humidificadas, os sais dissolvidos acompanharão as migrações da água até às superfícies onde cristalizarão designadamente sob a forma de eflorescências e criptoflorescências.

Alguns destes sais são higroscópicos, isto é, têm a propriedade de absorverem humidade do ar, dissolvendo-se quando a humidade relativa do ar está acima de 65 % – 75 %, voltando a cristalizar quando a humidade relativa baixa daqueles valores, com um considerável aumento de volume.

Dessa forma, estes sais são suscetíveis, não só de provocarem o humedecimento das superfícies sobre as quais se encontrem, mas também de darem origem a fenómenos de degradação, resultantes dos aumentos de volume que acompanham a sua cristalização, em consequência da sucessão de ciclos dissolução/cristalização.

Os sais solúveis que se encontram associados mais frequentemente à ocorrência de manifestações patológicas são os sulfatos, os carbonatos, os cloretos, os nitritos e os nitratos, dos quais os dois primeiros não são, em geral, higroscópicos.

As anomalias devidas a fenómenos de higroscopicidade são caracterizadas pelo aparecimento de manchas de humidade em locais com fortes concentrações de sais, eventualmente associadas a degradações dos revestimentos das paredes.

Estas manifestações podem ocorrer durante todo o ano, mesmo no Verão, em períodos de elevadas humidades relativas do ar, no caso das manchas, ou de variações frequentes daquele estado higrométrico, no que se refere às degradações dos revestimentos.

De acordo com Magalhães [3] quando os revestimentos contendo sais solúveis em água entram em contacto com água líqüida ou com elevados teores de vapor de água, estes sais que são, em geral, absorventes e higroscópicos, fixam água em quantidade superior aos materiais de revestimento, constituindo uma espécie de depósitos de água, que vão originar mais anomalias, permitindo, nomeadamente, a solução de mais sais, e gerando, assim, um fenómeno em cadeia.

2.2.6 Humidade devida a causas fortuitas

De acordo com Henriques [2] são inúmeras as situações de ocorrência de humidades devidas a causas fortuitas. No entanto numa forma geral caracterizam-se pela sua natureza pontual e decorrem de defeitos de construção, falhas de equipamentos ou de erros humanos, quer ativos como por exemplo os acidentes, quer passivos como no caso de falta de manutenção.

De entre as causas mais frequentes deste tipo de anomalias, destacam-se as que decorrem de roturas de canalizações das redes de distribuição de águas, das redes de águas pluviais e das redes

de esgotos. As infiltrações nas paredes de águas provenientes da cobertura, devidas a entupimentos de caleiras, de algerozes, de tubos de queda, bem como a deficiências nos remates da cobertura com as paredes emergentes ou a deficiências no capeamento destas paredes, são exemplos comuns.

Os sintomas associados aos fenómenos de humidade devida a causas fortuitas são naturalmente muito variáveis, apresentando um bom número de casos de algumas características típicas, das quais se destacam as seguintes:

- natureza localizada das anomalias;
- associação com os períodos de precipitação em situações relacionadas com infiltrações de água das chuvas;
- carácter permanente e de grande gravidade em situações de rotura de canalizações, eventualmente sazonal se estas forem de águas pluviais;
- migração da humidade para locais afastados da origem das anomalias, em situações em que o débito de água seja fraco e propicie a atuação dos mecanismos da capilaridade.

2.3 Métodos de prevenção e tratamento das humidades ascensionais

Quando se constata que um edifício tem patologia associada ao fenómeno da humidade ascensional, deve-se intervir e procurar uma solução adequada à sua erradicação.

No entanto como é sabido, perante a complexidade dos fenómenos envolvidos e, dependendo da análise de diagnóstico efetuado, há um risco associado a uma eventual ineficácia parcial ou total de intervenção.

De acordo com Henriques [2] o conhecimento das formas de manifestação das anomalias devidas à humidade é um dado essencial para a elaboração de um diagnóstico correto, que permita identificar claramente as respetivas causas e propor as soluções de reparação adequadas.

É importante referir que alguns dos métodos de tratamento da patologia associada à humidade ascensional abaixo indicados, tem um carácter meramente histórico e informativo, pois já estão suplantados.

De acordo com Freitas et al [5] quando se intervém num edifício construído recentemente (em que não foram tomadas as devidas precauções), ou quando se reabilita um edifício antigo com patologias associadas à humidade ascensional, deve-se estudar convenientemente as suas causas, bem como pesquisar a solução mais adequada à sua eliminação.

As metodologias de tratamento para este tipo de patologia podem agrupar-se da seguinte forma:

- Execução de corte hídrico;
- Redução da secção absorvente;
- Introdução de tubos de arejamento;
- Eletro-osmose (passiva, semi-passiva, ativa, forese);
- Ocultação das anomalias;
- Ventilação da base das paredes.

A eficácia destas soluções nem sempre é total, pelo que devem ser equacionadas as possibilidades de sucesso e o custo da intervenção.

2.3.1 Execução de corte hídrico

O que se pretende com este método é estabelecer uma barreira contínua, na base das paredes, que impeça a ascensão da água.

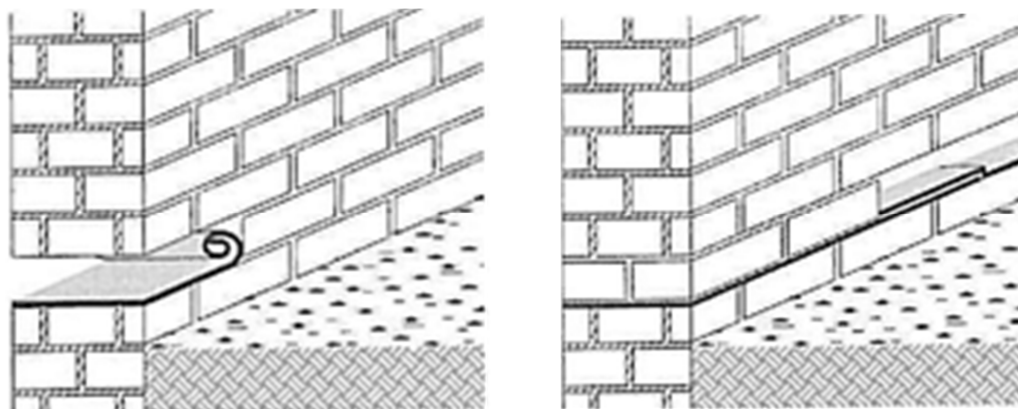
De uma forma geral, destacam-se dois tipos distintos de soluções:

- Introdução de barreiras físicas (metálicas, betuminosas, materiais impermeáveis, etc.);
- Introdução de barreiras químicas.

2.3.1.1 Barreiras físicas

– Substituição parcial de alvenarias –

Este procedimento consiste na substituição de alguns elementos da alvenaria por materiais não capilares. Começa-se por demolir a alvenaria por pequenos troços com cerca de 20 a 30 cm de altura e em toda a espessura da parede e substituí-la por materiais impermeáveis. Este método, embora eficaz quando corretamente executado, é de difícil e morosa execução, sendo aplicável apenas em paredes constituídas por elementos regulares de pequena dimensão. (figura 2.26)



Figuras 2.26 – Introdução de camadas não capilares em alvenarias regulares (CSTC – Centre Scientifique et Technique de la Construction). [8]

Outra forma de executar o corte hídrico consiste em efetuar um rasgo na parede, por troços com cerca de 1 m de comprimento, que vão sendo preenchidos com materiais estanques, nomeadamente, membranas betuminosas, folhas de polietileno ou de policloreto de vinilo e argamassas de ligantes sintéticos, tendo a preocupação de garantir a continuidade do material.

Um aspeto a não descurar é a garantia do preenchimento dos espaços eventualmente livres após a aplicação do material estanque para que não ocorram assentamentos posteriores. No caso de paredes de espessura elevada, a abertura dos roços pode ser executada dos dois lados da parede com fio helicoidal.

Este método tem como inconvenientes a produção de vibrações e criação de eventual instabilidade estrutural na parede.

– Método de Massari –

Massari desenvolveu, na década de 60 do século XX, um processo que procurou ultrapassar algumas das dificuldades do método anteriormente referido.

O método de Massari baseia-se na execução de carotagens sucessivas em troços de cerca de 45 a 50 cm de comprimento.

Realiza-se uma primeira série de furações tangentes umas às outras e posteriormente executa-se uma segunda série com centros nos pontos de tangência anteriores (figura 2.27).

Após a realização das furações é efetuada a limpeza e procede-se ao seu preenchimento com argamassa de ligantes sintéticos.

Aguarda-se o endurecimento da argamassa e avança-se para o troço seguinte.

Este método é passível de ser executado em paredes de qualquer espessura, mesmo que o acesso de um dos lados esteja limitado.

É um método que apresenta alguma simplicidade de execução e que procura contornar algumas das limitações anteriormente referidas.

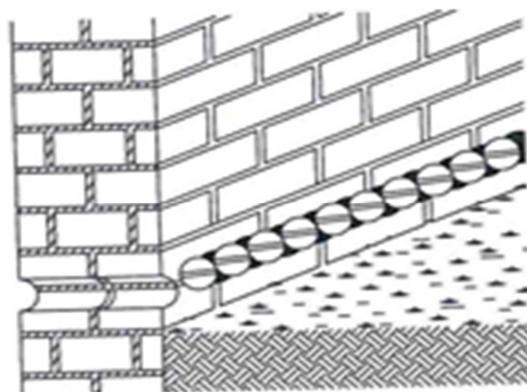


Figura 2.27 – Método de Massari (CSTC – Centre Scientifique et Technique de la Construction). [8]

– Método de Schöner Turn –

Consiste na introdução de chapas de aço inoxidável onduladas nas paredes a tratar. Esta tarefa é executada com o recurso a martelos pneumáticos (figura 2.28), o que limita a sua aplicação a alvenarias constituídas por elementos regulares, tais como tijolos, pedra aparelhada, etc., com juntas horizontais contínuas e bem definidas.

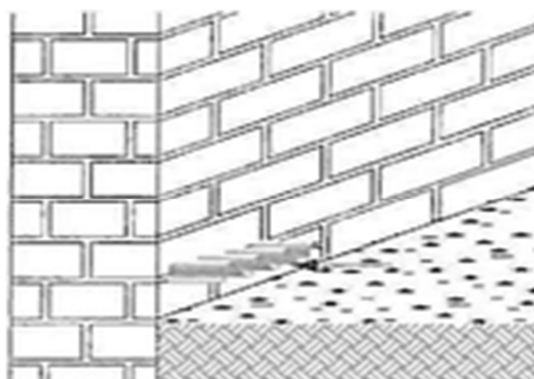


Figura 2.28 – Método de Schöner Turn (CSTC – Centre Scientifique et Technique de la Construction). [8]

2.3.1.2 Barreiras químicas

A implantação de barreiras físicas apresenta diversas limitações, nomeadamente: custo, vibrações, poeiras e a dificuldade de aplicação, pelo que o aparecimento de novos materiais sintéticos permite a execução de barreiras químicas (aplicadas por difusão ou injeção) nas estruturas porosas dos materiais que constituem as paredes.

Estas barreiras devem ser localizadas o mais próximo possível do nível do terreno, a cerca de 15 cm acima deste. Para proceder à introdução dos produtos executam-se furos ao longo da parede, afastados em cerca de 10 a 20 cm e com uma profundidade de, aproximadamente, $1/3$ da espessura. No caso de se perfurar apenas de um dos lados a profundidade, deve ser de $2/3$ da espessura da parede (figura 2.29).

Executando a furação de acordo com o exposto, garante-se na maior parte das situações, uma boa distribuição do produto em toda a espessura da parede, regra essencial para se alcançar o objetivo pretendido que é uma total continuidade da barreira estanque.

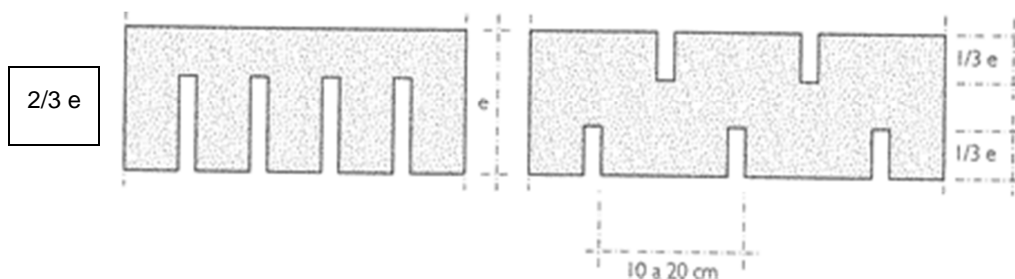


Figura 2.29 – Esquema de furação. [5]

Após a realização da furação inicia-se a introdução dos produtos através de uma das seguintes técnicas:

- **Difusão** – técnica baseada na ação da gravidade, podendo os furos ser executados, quer na horizontal, quer inclinados no sentido da base da parede. Nestes furos serão introduzidos tubos associados a garrafas contendo o produto selecionado (figura 2.30).

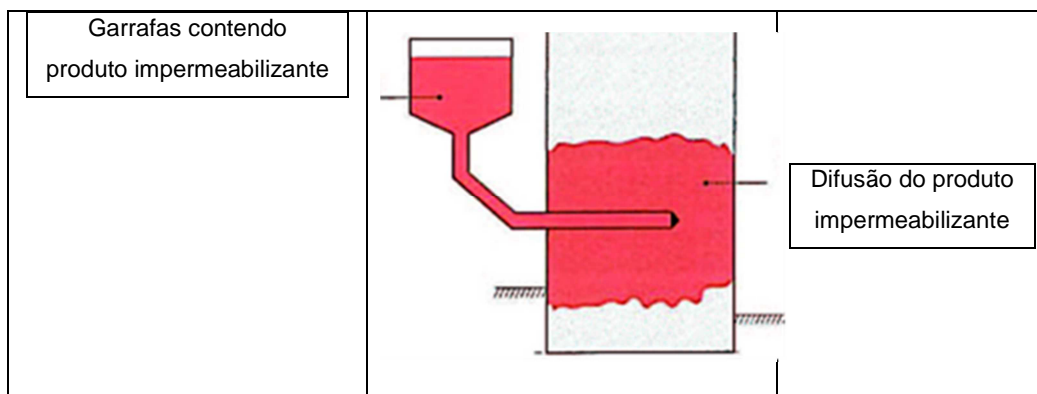


Figura 2.30 – Introdução de produtos por difusão. [5]

- **Injeção** – neste caso o produto será introduzido na parede com o auxílio de um equipamento de pressão que estará diretamente ligado ao conjunto de tubos inseridos na furação efetuada.

A pressão utilizada pode variar em função da porosidade e resistência mecânica do material não excedendo, normalmente, os 0,4 MPa.

A introdução sob pressão tem a vantagem de facilitar a “expulsão” da água contida nos poros, auxiliando assim a penetração do produto e a sua distribuição homogênea e contínua (figura 2.31).

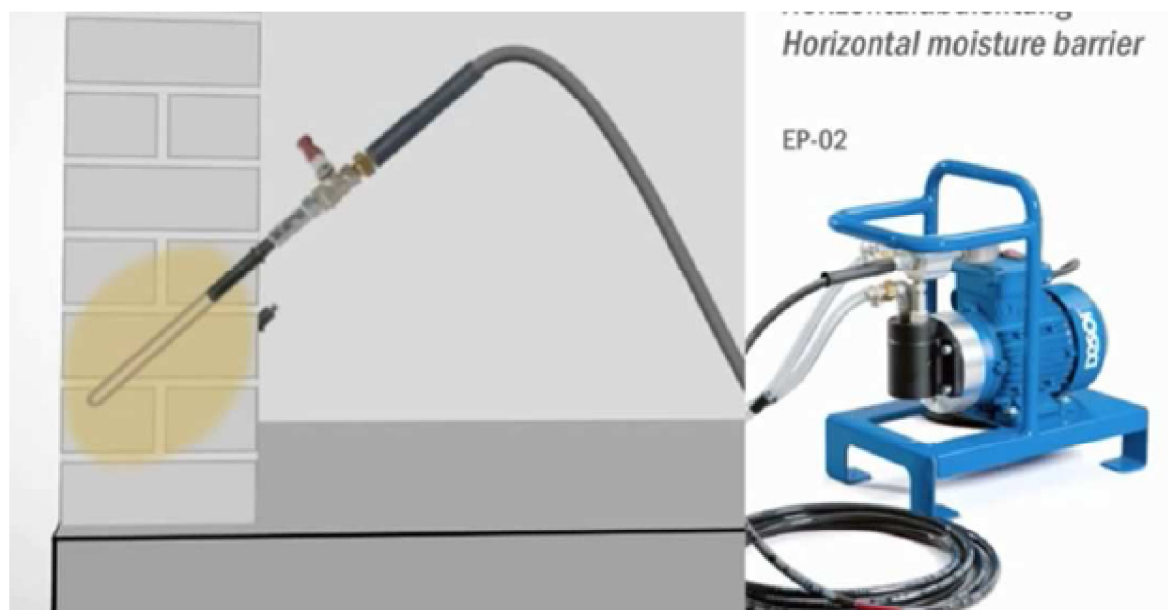


Figura 2.31 – Introdução de produtos por injeção (catálogo comercial). [9]

Os vários tipos de produtos utilizados estão descritos no quadro 2.4:

Quadro 2.4 — Tipos e características dos produtos utilizados nas barreiras químicas. [5]

Produtos	Características
Acrilamidas	Resultam da mistura de dois compostos orgânicos. Dão origem a um material com viscosidade semelhante à da água e que se mantém até ao momento em que se dá a gelificação desejada para obturar os poros. É considerado dos mais eficazes.
Organo-metálicos	Produtos mais recentes constituídos por compostos orgânicos, de titânio e de alumínio que se polimerizam em presença da água após a evaporação dos solventes.
Resinas epoxídicas	Produto de mais difícil penetração, nomeadamente, nos casos em que a parede é constituída por poros de pequenas dimensões. O endurecimento é muito rápido e começa logo após o início da introdução do produto nos orifícios efetuados podendo levar a um bloqueamento dos poros antes do término da operação.
Silicatos	Conjunto de produtos que têm em comum a formação de um gel de sílica que irá obturar os poros e os tubos capilares. Estes produtos apresentam uma baixa capacidade de penetração nas paredes. A sua introdução pode originar eflorescências e levar a uma desagregação de partes superficiais do material.
Siliconatos	Compostos solúveis na água que em presença do dióxido de carbono se transformam em materiais hidrófugos. No caso específico de paredes espessas poderá haver alguma dificuldade em garantir a sua eficácia, uma vez que existe carência de dióxido de carbono.
Silicones	Compostos macromoleculares dissolvidos em solventes hidrófugos, o que dificulta a impregnação, pelo que a sua aplicação implica um maior número de furos.
Siloxanos	É um produto hidrófugo com boa penetração no substrato, mas com a vantagem de ser incorporado com baixas concentrações, tornando uma solução económica. Solução aquosa de metassiliconato de potássio.

Para que uma barreira química possa cumprir os seus objetivos é necessário garantir a boa penetração dos produtos e a sua continuidade.

Contudo, nem todos os produtos se adequam a todo o tipo de paredes, pelo que se deverá escolher o produto mais adequado, em cada caso, bem como a forma de aplicação.

Apresenta-se no quadro 2.5 uma descrição e classificação dos produtos mais utilizados e respetiva forma de aplicação.

Quadro 2.5 — Principais tipos de produtos e respetiva forma de aplicação. [5]

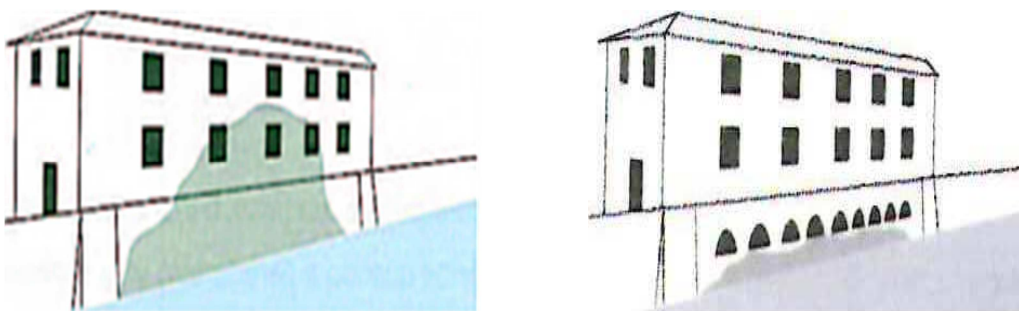
Produtos	Tipo		Forma de aplicação	
	Hidrófugo	Tapa-poros	Injeção	Difusão
Acrilamidas	-	•	•	-
Organo-metálicos	•	-	•	-
Resinas epoxídicas	-	•	•	-
Silicatos alcalinos	-	•	•	•
Siliconatos	•	-	•	-
Silicones	•	-	•	-
Siloxanos	•	-	•	-

2.3.2 Redução da secção absorvente

Este princípio de tratamento baseia-se na substituição de parte da alvenaria existente por espaços vazios, reduzindo as zonas passíveis de migração de água (figura 2.32).

Esta técnica foi concebida por Koch para solucionar problemas de humidade ascensional numa igreja em que a humidade era a principal causa de destruição dos frescos.

O princípio desta solução baseia-se no facto da quantidade de água absorvida pela secção reduzida da parede ser compensada pela evaporação que se produz nos espaços de ar criados, diminuindo a migração de humidade por ascensão capilar.



Figuras 2.32 – Influência da redução da secção absorvente na humidade ascensional. [5]

Esta solução aparenta ser uma técnica muito interessante embora não seja correntemente utilizada, pelo facto de introduzir alterações na arquitetura do edifício, aliada a razões de índole estrutural.

2.3.3 Introdução de tubos de arejamento

Ao mergulhar um tubo de ensaio cheio de água, numa tina com óleo, a água vai sendo substituída pelo óleo uma vez que é mais pesada. Tendo por base este princípio, Knappen imaginou que se introduzisse drenos obliquamente (tubos de arejamento ou de Knappen) nas paredes húmidas, estes ficariam imediatamente preenchidos com ar húmido, mais pesado que o ar seco, criando-se um processo contínuo de condução do ar húmido para o exterior (figura 2.33).

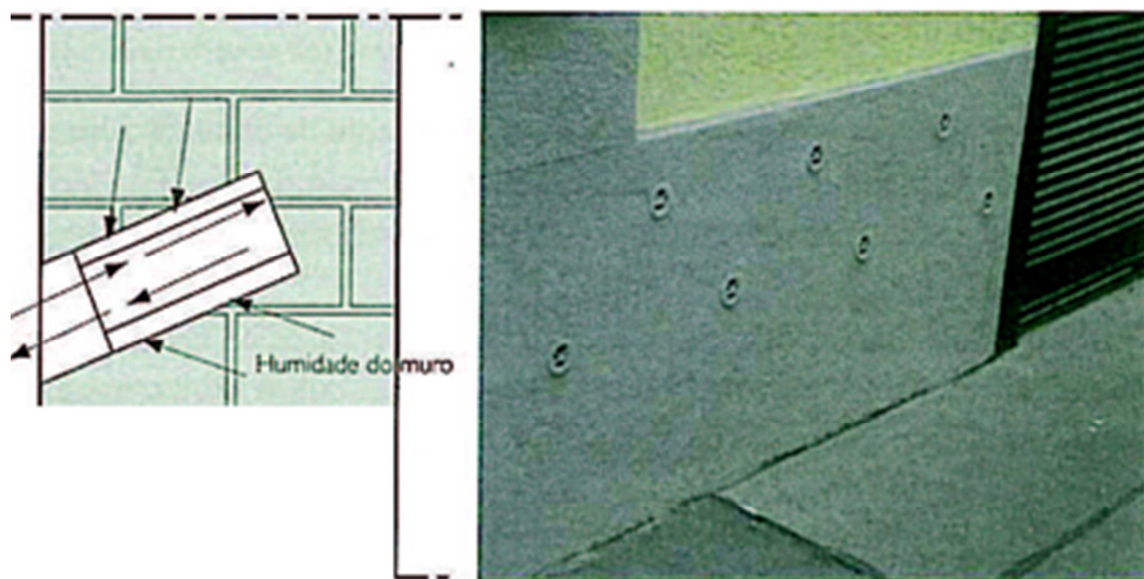


Figura 2.33 – Tubos de arejamento. [5]

Embora se trate de uma solução muito económica e, por isso bastante utilizada na Europa Central, não apresenta resultados satisfatórios quando a parede tem uma espessura elevada ou quando há um grande afastamento entre tubos.

Além das questões associadas à eficácia deste procedimento, existem também condicionantes de ordem estética que contribuem para a não utilização desta solução.

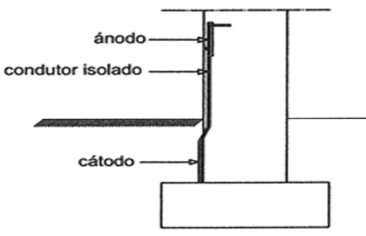
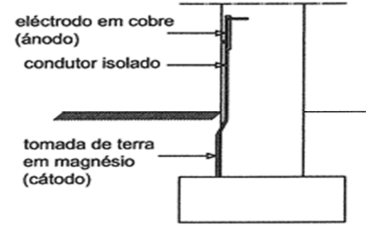
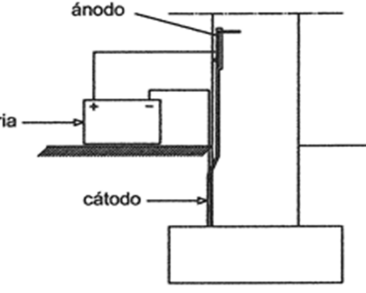
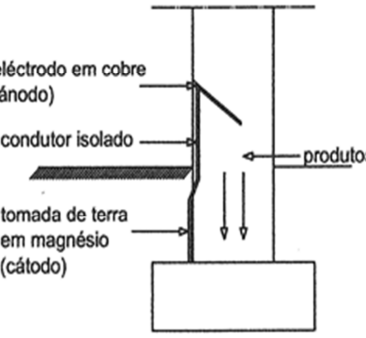
2.3.4 Eletro-osmose

São muito antigas as técnicas de eletro-osmose que se destinam a criar um potencial eléctrico contrário ao potencial capilar.

Esta metodologia passa por introduzir na parede um conjunto de sondas condutoras que funcionam como ânodo ligadas a uma tomada de terra que atua como cátodo.

Sob a designação de sistemas de eletro-osmose ou eletro-osmóticos englobam-se quatro grupos descritos no quadro 2.6.

Quadro 2.6 — Sistemas de eletro-osmose ou eletro-osmóticos. [5]

Designação	Descrição da Técnica	Princípio de instalação
<p>Eletro-osmose passiva</p>	<p>Procede-se à ligação entre os eléctrodos da parede (ânodo) e do terreno (cátodo). Os eléctrodos são da mesma natureza.</p>	
<p>Eletro-osmose semi-passiva</p>	<p>Técnica semelhante à anterior, cuja diferença está na introdução de tensão devido ao facto dos eléctrodos serem de materiais distintos criando uma espécie de pilha eléctrica.</p>	
<p>Eletro-osmose activa</p>	<p>Esta técnica interpõe-se entre os eléctrodos da parede e do terreno uma fonte de corrente contínua de baixa tensão que ajuda ao estabelecimento de uma diferença de potencial, diferença essa que deverá estar limitada a um máximo de 1,6 Volt para que não se dê a electrólise da água.</p>	
<p>Eletro-osmose forese</p>	<p>Esta técnica pretende colmatar um dos principais inconvenientes dos processos anteriores, que é a interrupção do funcionamento do sistema. Neste caso o ânodo é em cobre e o cátodo em aço galvanizado, e procede-se à introdução de “produtos de forese” contendo partículas metálicas em suspensão. Funcionando o sistema sob a ação da corrente criada pela “pilha”, a água desloca-se arrastando consigo os produtos que irão colmatar os tubos capilares. Assim, ao fim de um ano e meio a dois anos, os tubos encontram-se totalmente colmatados e o sistema pode ser interrompido.</p>	

2.3.5 Ocultação das anomalias

2.3.5.1 – Aplicação de revestimento com porosidade e porometria controlada

Quando não temos possibilidade de atuar sobre as causas que estão na origem da humidade ascensional, pode optar-se por um processo alternativo que consiste na colocação de materiais porosos no exterior de forma a facilitar as condições de evaporação à superfície dos diversos elementos. Por exemplo, através da realização de rebocos com subcamadas com características distintas de forma que a porosidade vá aumentando do exterior para o interior (figura 2.34).

A cristalização de sais ocorre sem degradação da estrutura porosa podendo, no entanto, conduzir ao aparecimento de eflorescências.

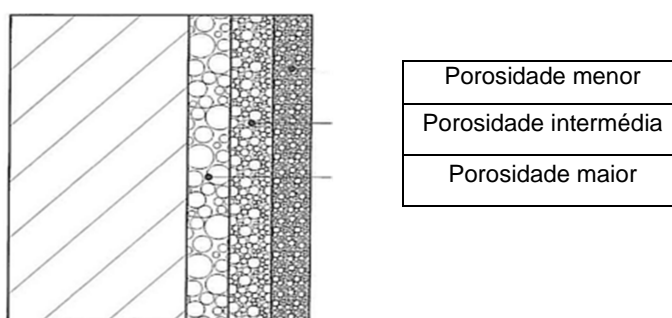


Figura 2.34 – Revestimentos com porosidade e porometria controlada. [5]

2.3.5.2 – Aplicação de forra interior separada por um espaço de ar

Este método baseia-se não na atuação sobre as causas do problema, mas sim na sua ocultação, para que a manifestação da patologia não seja visível, bem como as suas consequências (figura 2.35).

O princípio de atuação consiste na execução de uma forra pelo interior, de pequena espessura, afastada da parede em cerca de 10 cm sem que haja qualquer ponto de contacto com esta. Cria-se um espaço de ar entre a parede e a forra, sendo o espaço ventilado para o exterior. A ventilação é realizada através de orifícios localizados a diferentes níveis.

A base da parede deve ser impermeável de forma a não haver continuidade hídrica.

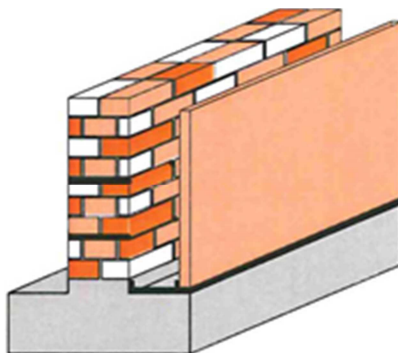


Figura 2.35 – Forra interior separada por um espaço de ar. [7]

2.3.6 Ventilação da base das paredes

Muitas das técnicas já descritas e correntemente utilizadas para minimizar a humidade ascensional, não se têm mostrado eficazes quando se pretende tratar paredes com espessura considerável e com uma grande heterogeneidade na sua composição, como é o caso do património monumental e edifícios antigos.

No Laboratório de Física das Construções (LFC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) tem-se desenvolvido investigação experimental com o objetivo de validar a eficiência de uma técnica de tratamento da humidade ascensional, em paredes de edifícios antigos, que consiste em ventilar a base das paredes recorrendo a um processo de ventilação natural ou instalando um dispositivo mecânico higro-regulável.

Assim, procura-se aumentar a evaporação através da execução de canais ou tubos periféricos ventilados. Esta é uma técnica que deve ser usada quando a cota da fundação da parede se situar acima do nível freático.

Os canais exteriores deverão possuir uma caleira para recolha e condução das águas pluviais, sendo protegidas superiormente e ventilados.

A profundidade a que deve ser colocado o canal tem de ser compatibilizada com exigências de estabilidade estrutural.

No interior, o sistema de ventilação poderá ser constituído por tubos perfurados com elevada permeabilidade ao vapor, associados a um dispositivo de ventilação natural ou mecânico higro-regulável (figura 2.36).

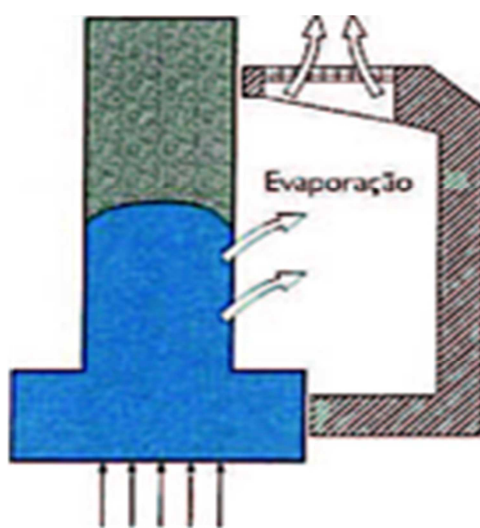


Figura 2.36 – Princípio de funcionamento de um sistema de ventilação da base das paredes. [5]

2.3.7 Análise comparativa das diferentes soluções

No quadro 2.7 faz-se uma síntese das limitações e eficácia das várias técnicas descritas, com base na Nota de Informação Técnica 162 do Centre Scientifique et Technique de La Construction.

Quadro 2.7 — Limitações e eficácia das várias técnicas de tratamento da humidade ascensional. [5]

Solução	Método	Eficácia	Polivalência*	Aspeto**	Limitações
1. Execução de corte hídrico	1.1 – Barreiras físicas	Boa	Boa	Médio	Vibrações. Instabilidade. Aplicável apenas em alvenarias resistentes com juntas regulares.
	1.2 – Barreiras químicas	Muito boa	Muito boa	Bom	Têm que ter uma barreira contínua em toda a espessura da parede. Dificilmente eficaz em paredes muito espessas e muito heterogéneas.
2. Eletro-osmose		Média / Má	Boa	Bom	Inadequados quando a resistência do terreno é elevada.
3. Redução da secção absorvente		Má	Média	Médio	Estruturais e arquitetónicas.
4. Introdução de tubos de arejamento		Má	Média	Médio	Estéticas. Pouca eficácia.
5. Ocultação das anomalias	5.1 – Revestimento com porosidade e porometria controlada	Média	Média	Bom	Implica o aparecimento de eflorescências. Não é aplicável em paredes não rebocadas.
	5.2 – Forra interior separada por um espaço de ar	Boa	Média	Bom	Diminui as áreas úteis. Se não for possível ventilar pode não apresentar os resultados esperados. Não permite a visualização da parede original.
6. Ventilação da base das paredes		Muito Boa	Boa	Bom	Instabilidade estrutural. Apenas executável acima do nível freático. Tratamento contínuo em toda a parede.
* – Resultado da utilização, da solução em causa, em diferentes materiais e tipos de paredes.					
** – Aspeto estético das alvenarias na zona tratada.					

Todas as técnicas de tratamento da humidade ascensional descritas anteriormente têm vantagens e inconvenientes:

- O corte hídrico realizado através da execução de barreiras físicas gera vibrações que podem provocar problemas de estabilidade;
- A introdução de produtos hidrófugos ou tapa-poros dificilmente é eficaz quando se trata de paredes muito espessas e muito heterogéneas, como é normalmente o caso de edifícios antigos;
- A electro-osmose e a instalação de tubos de Knappen são técnicas consideradas muito pouco eficazes;
- A redução da secção absorvente é uma ideia interessante, embora pouco usada por razões estéticas e estruturais;
- A aplicação de revestimentos com porosidade e porometria controlada tem como principal limitação não ser aplicável em paredes não rebocadas. A aplicação de forra, separada da

parede por um espaço de ar, será com certeza eficaz se corretamente executada, mas provoca uma diminuição da área do compartimento e não permite a visualização da parede original;

- A ventilação da base das paredes é uma técnica com grandes potencialidades no tratamento da humidade ascensional de edifícios antigos.

Em conclusão, embora exista um vasto leque de técnicas de reabilitação e de tratamento de anomalias originadas por humidades ascensionais, estas manifestam-se, na maioria dos casos, pouco eficazes, dispendiosas, bastante intrusivas ou de difícil execução.

Neste sentido e na medida em que o problema das humidades ascensionais em paredes é comum e recorrente ao longo do edificado, é de extrema importância a conceção de uma técnica eficiente e que alie a facilidade de implementação com o reduzido custo de aplicação.

Bibliografia do Capítulo

[1] Freitas, Vasco Peixoto de – “Transferência de Humidade em Paredes de Edifícios – Análise do Fenómeno da Interface”. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, 1992.

[2] Henriques, Fernando Manuel Anjos – “Acção da humidade em paredes – Formas de manifestação, critérios de quantificação e análise de soluções de reparação” – Dissertação de Doutoramento. Universidade Técnica de Lisboa no âmbito do protocolo entre o IST e o LNEC, Lisboa, Junho de 1992.

[3] Magalhães, Ana Cristian – “Patologia de rebocos antigos” pesquisa efectuada no âmbito do projecto “Metodologias para a Mitigação do Risco Associado à Degradação das Construções”, co-financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e publicado nos Cadernos Edifícios, n.º 02 cujos coordenadores da edição foram Veiga, Maria do Rosário e Aguiar, José – “Revestimentos de paredes em edifícios antigos” – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Outubro de 2002.

[4] Pinho, Fernando F. S. – “Paredes de edifícios antigos em Portugal”. Conservação e Reabilitação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2000.

[5] Freitas, Vasco Peixoto de; Torres, Maria Isabel; Guimarães, Ana Sofia – “Humidade Ascensional”. 1ª. Edição. FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

[6] Gonçalves, Teresa Cláudio Diaz – “Salt crystallization in plastered or rendered walls”. Dissertação para obtenção do grau Mestrado em Engenharia Civil na Universidade Técnica de Lisboa no âmbito do contrato de colaboração entre o Instituto Superior Técnico e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, Instituto Superior Técnico, Julho de 2007.

[7] Guimarães, Ana Sofia Moreira dos Santos – “Caracterização Experimental do Funcionamento de Sistemas de Ventilação da Base das Paredes para Tratamento da Humidade Ascensional”. Dissertação para obtenção do grau Mestre em Engenharia Civil, especialidade em Reabilitação do Património Edificado. Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, Dezembro de 2007.

[8] Centre Scientifique et Technique de La Construction (CSTC) – “Les procédès de traitement des maçonneries contre l'humidité ascensionnelle”. Note d'information technique 162. Bruxelas, Dezembro de 1985.

[9] Página da internet da empresa DESOI (catálogo comercial):

<http://www.desoi.de/en/videos/horizontal-moisture-barrier-horizontal-sealing/>, visitada em 10/10/2014.

3 – PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 Objetivos da campanha experimental

O principal objetivo deste estudo corresponde a avaliar experimentalmente em laboratório o fenómeno da ascensão capilar numa parede modelo (provete) de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica e areia; sem qualquer tipo de proteção, comparando-o com os vários métodos de proteção preconizados.

Para o efeito, foram realizados ensaios no Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico – através de um provete de parede de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica e areia – em condições de simulação de paredes de edifícios antigos com tipologias distintas, de forma a implementar técnicas de prevenção às humidades ascensionais.

As referidas técnicas propostas aplicar na mitigação das humidades ascensionais em paredes de alvenaria de edifícios antigos têm como características comuns serem pouco onerosas e de fácil aplicação, não exigindo mão-de-obra muito especializada.

Por fim pretende-se determinar a eventual eficácia de cada uma dessas soluções técnicas.

3.2 Construção da parede de teste (provete)

Foi construído, no Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico, um murete de alvenaria ordinária de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia, com 0,60 m de comprimento, com 0,40 m de largura e com 1,00 m de altura.

Estas dimensões foram selecionadas como representativas de alguns tipos de paredes de alvenaria usadas em edifícios antigos, formando-se um troço de parede à escala real.

A pedra utilizada corresponde à comumente usada na construção de paredes de edifícios e em muros da região. Assim a pedra selecionada é de natureza calcária, medianamente metamorfizada, sobretudo “vidraças” e em menor número “azulino de cascais”.

A argamassa foi constituída por cal hidráulica natural (NHL 5) e as areias foram: areia do rio Tejo e areia amarela de Corroios.

A argamassa realizou-se com um traço volúmico de 1:3, sendo cal hidráulica natural, e 1,5 de areia do rio + 1,5 de areia amarela de Corroios e água.

As pedras foram convenientemente lavadas para lhes remover sujidades várias, usando o jato de mangueira para limpeza mais eficaz em zonas críticas.

Houve seleção criteriosa das pedras de modo a garantir que as mesmas são mecanicamente sãs e com o propósito de se obterem bons “leitos”, com encaixe mútuo adequado, com faces razoavelmente desempenadas e com bom travamento no seu conjunto.

Sempre que necessário o pedreiro utilizou o martelo para “corrigir” as irregularidades e obter uma superfície visivelmente plana.

O conjunto da base, composta pela estrutura metálica de suporte e pela tina, forrou-se com duas mantas de plástico.

Sobre este último aplicou-se diretamente uma camada de argamassa de cal hidráulica natural e areia, com 0,02 m de espessura média. Posteriormente aplicou-se a primeira fiada de pedras.

Sobre esta primeira fiada de pedras, foram-se aplicando fiadas seguintes, em processos repetitivos cujas camadas de argamassa tiveram as espessuras normais e adequadas, de forma a garantir uma boa solidarização das pedras. O pedreiro regularmente usava o martelo ou o cabo da colher para “bater” na pedra, ajustando-a à fiada e ao conjunto, fazendo refluir a argamassa das juntas de contacto.

Em seguida apresenta-se uma sequência de figuras ilustrativas da construção do provete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica e areia, desde a figura 3.1 à figura 3.20.



Figura 3.1 – Lavagem e escovagem das pedras.



Figura 3.2 – Lavagem com jacto de água.



Figura 3.3 – Cal hidráulica natural (NHL 5).



Figura 3.4 – Areia amarela de Corroios.



Figura 3.5 – Areia do rio Tejo.



Figura 3.6 – Lavagem da betoneira para execução de argamassa.



Figura 3.7 – Argamassa de cal natural e areia.



Figura 3.8 – Preparação da base de suporte para construção do murete de alvenaria.



Figura 3.9 – Primeiro ensaio com medições.



Figura 3.10 – Primeira fiada de alvenaria várias.



Figura 3.11 – Segunda fiada de alvenaria.



Figura 3.12 – Progresso do murete.



Figura 3.13 – Face desempenada do murete.



Figura 3.14 – Ação com martelo para garantir bom encaixe da pedra e o refluir da argamassa.



Figura 3.15 – Preenchimento interior.



Figura 3.16 – Remate do coroamento.



Figura 3.17 – Remate do coroamento.



Figura 3.18 – Aprimorar as juntas.



Figura 3.19 – Alçado principal do murete.



Figura 3.20 – Vista global do murete com alçado lateral e coroamento em destaque.

É importante referir que o provete ficou assente sobre uma tina de chapa zincada com 2,5 mm de espessura e de formato paralelepípedo, desprovido de tampa e com dimensões de 0,95 m (comprimento), de 0,60 m (largura) e de 0,17 m (altura), garantido total estanquicidade à água depositada no seu interior.

Por sua vez a tina ficou assente numa base constituída por uma grelha em estrutura tubular metálica de aço galvanizado, com 0,95 m de comprimento e com 0,60 m de largura. Por baixo da estrutura base foram acopladas oito rodas de forma a permitirem o transporte do provete nos pavimentos do laboratório de construção.

Em seguida apresenta-se uma sequência de figuras ilustrativas das dimensões e características da base de suporte (para construção do murete de alvenaria) e respetiva tina, desde a figura 3.21 à figura 3.24.



Figura 3.21 – Estrutura metálica de suporte.



Figura 3.22 – Pormenor das rodas acopladas.



Figura 3.23 – Pormenor da tina (vista superior).



Figura 3.24 – Pormenor da tina (vista inferior).

3.3 Esquema de ensaio

Com o objetivo de analisar o comportamento de uma parede de alvenaria de pedra perante o fenómeno de humidades ascensionais, foram idealizadas várias tipologias de paredes, formatadas a partir dum provete base.

As designadas tipologias 1.a) e 1.b) são exatamente iguais, diferindo apenas nas condições ambientais de realização das respetivas experiências.

A tipologia 1.a) foi efetuada no interior do Laboratório de Construção, concretamente no corredor central, registando-se ao longo das vinte e quatro horas do dia, pequenas oscilações de temperatura e algumas variações da humidade relativa do ar.

A tipologia 1.b) e seguintes foram realizadas no interior da câmara de cura do Laboratório de Construção, cuja temperatura é constante e corresponde a 21 °C, enquanto a humidade relativa corresponde a 100%.

O ambiente de saturação deve-se às condições de fronteira existentes nesse espaço, bem como às sucessivas e programadas regas interiores em spray, cuja frequência habitual é de 10 minutos.

De seguida enumeram-se e caracterizam-se cada uma das tipologias ensaiadas quer no interior do Laboratório de Construção, quer na câmara de cura do mesmo laboratório do Instituto Superior Técnico.

Foram registados todos os valores relevantes em periodicidade habitualmente diária, com a natural exceção dos fins-de-semana e alguns feriados, face ao correspondente encerramento do Laboratório de Construção.

Tipologia 1.a) – Provete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia, sem camada de reboco em nenhuma das faces;

O provete de tipologia 1.a) foi ensaiado nos espaços interiores (corredor central) do Laboratório de Construção.

O provete esteve inserido numa tina metálica, parcialmente preenchida com água com altura inicial de 0,03 m, promovendo-se as condições de materialização às humidades ascensionais.

Sempre que necessário repôs-se o nível de água na tina com altura total de 0,03 m.

Tipologia 1.b) – Provete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia, sem reboco em nenhuma das faces;

O provete de tipologia 1.b) foi ensaiado no interior da câmara de cura do laboratório de construção.

O provete esteve inserido numa tina metálica, parcialmente preenchida com água e com altura inicial de 0,075 m, promovendo-se as condições de materialização às humidades ascensionais.

Com o acréscimo da altura da lâmina de água na tina, passando-se dos 0,03 m para os 0,075 m, teve-se o propósito de incrementar a pressão hidrostática, fomentando a ocorrência do fenómeno da capilaridade.

Sempre que necessário repôs-se o nível de água na tina com altura total de 0,075 m.

Tipologia 2 – Provete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia, com camada de reboco numa das faces de maior área, ao traço volúmico 1:3.

É importante referir que quando se aplicou a camada de reboco na designada face “A” do provete, este encontrava-se seco face ao ensaio anteriormente realizado e denominado por tipologia 1.b), tendo sido utilizado para o efeito um humidímetro de contacto.

A argamassa de reboco foi executada em 26 de Março de 2013, com cal hidráulica natural (NHL 5), com areia amarela de Corroios, com areia do rio Tejo e com água.

As quantidades empregues corresponderam aos seguintes valores:

(13.850 gramas + 6.925 gramas = 20.775 gramas) de areia amarela para 15 dm³;

(10.750 gramas + 5.375 gramas = 16.125 gramas) de areia do rio para 15 dm³;

(9.300 gramas) de cal hidráulica natural (NHL 5) para 10 dm³;

(10.000 gramas) de água para 10 dm³;

A argamassa foi fabricada numa betoneira com motor elétrico de marca “Irbal” e com 200 litros de capacidade, existente no laboratório de construção. O tempo total de amassadura mecânica correspondeu a 10 minutos.

Através de um recipiente em aço existente no Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico, foi possível calcular a baridade da argamassa.

Volume do Recipiente Cilíndrico:

$$\varnothing = 0,10 \text{ m}$$

$$h = 0,128 \text{ m}$$

$$V = 0,05 \text{ m} \times 0,05 \text{ m} \times \pi \times 0,128 \text{ m} = 0,001 \text{ m}^3 = 1,00 \text{ dm}^3 = 1,00 \text{ lt}$$

(Ensaio 1 da argamassa) → 3.272,0 gr (c/ tara) e 1.176,3 gr (tara)

$$\text{Peso Líquido} = 3.272,0 \text{ g} - 1.176,3 \text{ g (tara)} = 2.095,7 \text{ g}$$

(Ensaio 2 da Argamassa) → 3.273,4 g (c/ tara) e 1.176,3 g (tara)

$$\text{Peso Líquido} = 3.273,4 \text{ g} - 1.176,3 \text{ g (tara)} = 2.097,1 \text{ g}$$

(Ensaio 3 da argamassa) → 3.278,1 g (c/ tara) e 1.176,3 g (tara)

$$\text{Peso Líquido} = 3.278,1 \text{ g} - 1.176,3 \text{ g (tara)} = 2.101,8 \text{ g}$$

$$\text{Média} = (2.095,7 \text{ g} + 2.097,1 \text{ g} + 2.101,8 \text{ g}) / 3 = 2.098,2 \text{ g}$$

$$\text{Baridade da argamassa} = 2,0982 \text{ Kg} / 0,001 \text{ m}^3 = 2.098,2 \text{ Kg} / \text{ m}^3$$

Em seguida apresenta-se uma sequência de figuras ilustrativas dos objetos utilizados no fabrico e determinação da baridade da argamassa de cal hidráulica natural e areia, através das figuras 3.25 e 3.26.



Figura 3.25 – Controlo da amassadura da argamassa.



Figura 3.26 – Provete p/ determinação da baridade.

A espessura média de reboco aplicada numa das faces de maior área do provete (designada face “A”) equivaleu a 0,03 m, conforme ilustram as figuras 3.27 e 3.28.



Figura 3.27 – Aplicação de argamassa.



Figura 3.28 – Reboco com 0,03 m de espessura média na face de maior dimensão (face “A”).

O processo de cura desenvolveu-se no interior e em ambiente natural do mesmo laboratório.

Após secagem completa do provete o mesmo foi introduzido na câmara de cura em 15 de Abril de 2013, dando-se início ao ensaio de tipologia 2.

O provete esteve apoiado na tina metálica, parcialmente preenchida com água e com altura inicial de 0,075 m, promovendo-se as condições de materialização às humidades ascensionais.

Sempre que necessário repôs-se o nível de água na tina com altura total de 0,075 m.

Tipologia 3 – Provete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia, com reboco numa das faces de maior área na designada face “A”, cuja diferenciação em relação à da tipologia 2 sucede ao ter-se cortado o reboco na sua base e ao longo de todo o comprimento do provete.

O corte da camada de reboco existente numa faixa com 0,15 m de altura, a partir da base do provete – na designada face “A” – foi efetuado em 17 de Maio de 2013, com a ajuda duma rebarbadora com disco de aço para corte de betão e duma régua de alumínio com nível de bolha.

A remoção integral e limpeza do reboco nessa faixa foi efetuada manualmente com a ajuda de martelo e escopro, bem como de espátula, escova com pelo de arame e vassourinha, sempre que necessário.

Assim o reboco existente só figurou a partir de 0,15 m de altura da base do murete até ao coroamento, formando um “dente” com o objetivo de evitar na base – o contacto direto da água com a camada de reboco – promovendo o seu arejamento e diminuindo a natural propensão de absorção capilar.

O provete esteve apoiado na tina metálica, parcialmente preenchida com água e com altura inicial de 0,075 m, promovendo-se algumas condições de materialização às humidades ascensionais.

Sempre que necessário repôs-se o nível de água na tina com altura total de 0,075 m.

Em seguida apresenta-se uma sequência de figuras ilustrativas do processo de corte do reboco e construção de um dente na base do provete, respetivos utensílios e condições finais de proteção do provete na câmara de cura, desde a figura 3.29 à figura 3.34.

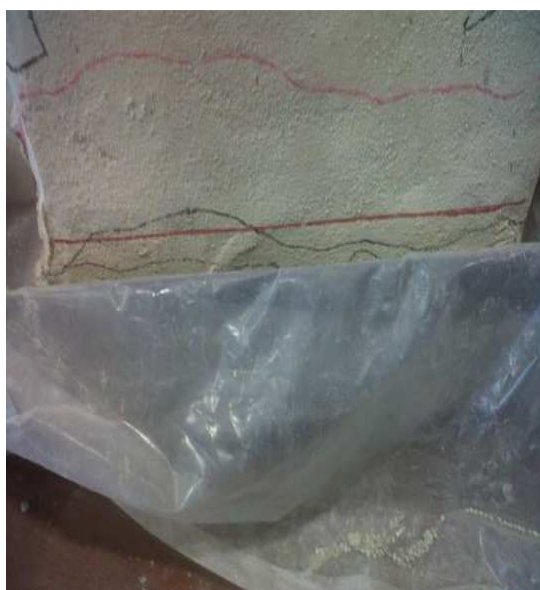


Figura 3.29 – Linha de corte do reboco.



Figura 3.30 – Corte efetuado com rebarbadora.



Figura 3.31 – Martelo e escopro utilizados.



Figura 3.32 – Utensílios de limpeza.



Figura 3.33 – Pormenor de corte do reboco na base do provete



Figura 3.34 – Proteção do provete com manta de plástico.

Tipologia 4 – Provete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia, com prévia aplicação de duas demãos de tinta de borracha líquida na outra superfície de maior área e designada por face “B” (oposta à face “A”).

A diferença em relação à da tipologia 3 – resulta por esta ter uma segunda face rebocada (oposta à inicialmente executada), com prévia aplicação de duas demãos de tinta de borracha líquida, entre a superfície de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia e a nova camada de reboco, também com 0,03 m de espessura média.

Em seguida apresenta-se uma sequência de figuras ilustrativas do processo aplicação de pintura com tinta de borracha no provete, respetivos utensílios e acabamento, desde a figura 3.35 à figura 3.38.



Figura 3.35 – Lata com 1 litro de tinta e pincel.



Figura 3.36 – Preparação da tinta de borracha.



Figura 3.37 – Aplicação da 1ª. demão de tinta de borracha.



Figura 3.38 – Progresso na aplicação de tinta de borracha.

Após secagem e impermeabilização nessa nova superfície designada por face “B”, foi aplicada uma camada de reboco com 0,03 m de espessura média, também ao traço volúmico 1:3.

A argamassa de reboco foi executada em 5 de Julho de 2013, com cal hidráulica natural (NHL 5), com areia amarela de Corroios, com areia do rio Tejo e com água.

As quantidades empregues corresponderam aos seguintes valores:

(13.800 gramas + 6.900 gramas = 20.700 gramas) de areia amarela para 15 dm³;

(10.700 gramas + 5.350 gramas = 16.050 gramas) de areia do rio para 15 dm³;

(9.300 gramas) de cal hidráulica natural (NHL 5) para 10 dm³;

(10.000 gramas) de água para 10 dm³;

A argamassa foi fabricada numa betoneira com motor elétrico de marca “Irbal” e com 200 litros de capacidade, existente no laboratório de construção.

O tempo total de amassadura mecânica correspondeu a 10 minutos.

Através de um provete em aço existente no Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico, foi possível calcular a baridade da argamassa.

Volume do Recipiente Cilíndrico:

$$\varnothing = 0,10 \text{ m}$$

$$h = 0,128 \text{ m}$$

$$V = 0,05 \text{ m} \times 0,05 \text{ m} \times \pi \times 0,128 \text{ m} = 0,001 \text{ m}^3 = 1,00 \text{ dm}^3 = 1,00 \text{ lt}$$

(Ensaio 1 da argamassa) → 3.270,3 g (c/ tara) e 1.176,3 g (tara)

$$\text{Peso Líquido} = 3.270,3 \text{ g} - 1.176,3 \text{ g (tara)} = 2.094,0 \text{ g}$$

(Ensaio 2 da Argamassa) → 3.271,2 g (c/ tara) e 1.176,3 g (tara)

$$\text{Peso Líquido} = 3.271,2 \text{ g} - 1.176,3 \text{ g (tara)} = 2.094,9 \text{ g}$$

(Ensaio 3 da argamassa) → 3.269,5 g (c/ tara) e 1.176,3 g (tara)

$$\text{Peso Líquido} = 3.269,5 \text{ g} - 1.176,3 \text{ g (tara)} = 2.093,2 \text{ g}$$

$$\text{Média} = (2.094,0 \text{ g} + 2.094,9 \text{ g} + 2.093,2 \text{ g}) / 3 = 2.094,0 \text{ g}$$

$$\text{Baridade da argamassa} = 2,0940 \text{ Kg} / 0,001 \text{ m}^3 = 2.094,0 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Também na designada face “B” do provete, o reboco aplicado (com 0,03 m de espessura média) só figurou a partir do coroamento até a 0,15 m de altura da base do murete, formando um novo “dente”.

O objectivo correspondeu a evitar na base – um possível contacto direto da água com a camada de reboco – promovendo o seu arejamento e diminuindo a natural propensão à absorção capilar.

O processo de cura da camada de reboco desenvolveu-se no interior e em ambiente natural do mesmo laboratório.

O provete esteve apoiado na tina metálica, parcialmente preenchida com água e com altura inicial de 0,075 m, promovendo-se algumas condições de materialização às humidades ascensionais.

Sempre que necessário repôs-se o nível de água na tina com altura total de 0,075 m.

Em seguida apresenta-se uma sequência de figuras ilustrativas do processo de execução da segunda camada de reboco no provete, nomeadamente na designada face “B”, desde a figura 3.39 à figura 3.42.



Figura 3.39 – Argamassa de cal hidráulica e areia.



Figura 3.40 – Aplicação de camada de reboco com dente na base da face “B”.



Figura 3.41 – Utilizando a talocha.



Figura 3.42 – Retoques finais com esponja.

3.4 Procedimento experimental

O provete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia, foi colocado na câmara de cura do Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico, local esse com temperatura constante e humidade relativa também constante.

A temperatura diversas vezes registada no interior do laboratório de construção equivalia a 21 °C, enquanto a humidade relativa correspondia a 100%, isto é, ao estado de saturação.

As medições das diferentes alturas de humidade ascensional nas superfícies do provete com camada de reboco, foram marcadas através de canetas de acetato, formando linhas de fronteira, geralmente com cores alternadas, entre superfícies húmidas e superfícies secas.

Em caso de dificuldade na perceção visual, recorreu-se à ajuda duma câmara termográfica, sempre que possível e necessário. Algumas das vezes utilizou-se a ajuda do flash da máquina fotográfica, para melhor perceção da linha de fronteira entre as superfícies húmidas e as superfícies secas.

Para além dessas marcações, foram efetuados diversos registos fotográficos, bem como os correspondentes registos de alturas máximas obtidas diariamente.

Posteriormente as áreas onde se verificaram as humidades ascensionais, foram medidas diariamente. Uma vez obtida a área das humidades ascensionais com a ajuda do programa “Autocad”, ao dividir-se pela largura do provete, obteve-se a altura média equivalente.

Os registos fotográficos diários do provete foram realizados através de uma máquina fotográfica.

As fotografias termográficas do provete foram realizadas através de uma máquina termográfica, de marca “Fluke” e modelo TIR 27 (IR Fusion Technology). A referida câmara termográfica capta imagens por infravermelhos, detetando padrões de calor ou mudanças de temperatura em objetos.

Como o provete estava assente no interior da câmara de cura sem mobilidade, o contraste das imagens termográficas era diminuto, devido à diminuta amplitude térmica registada nos diversos elementos do provete, sujeito a uma temperatura constante de 21 °C, perdendo-se a vantagem expectável.

As medições diárias das alturas máximas nas superfícies húmidas do provete, foram realizadas através de uma fita métrica.

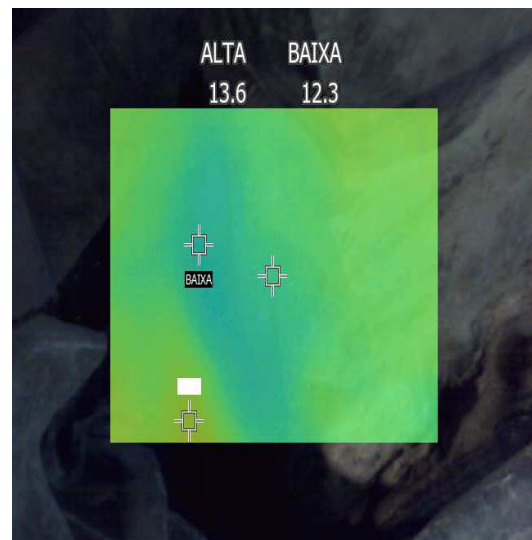
Por último, utilizou-se regularmente um humidímetro de contacto com a superfície de marca “Tramex”, para avaliar a medição do teor de humidade das faces do murete.

Os registos foram efetuados diariamente – sensivelmente a horas aproximadas – com exceção dos fins-de-semana e feriados, devido ao laboratório de construção se encontrar encerrado nesses períodos.

Em seguida apresenta-se uma sequência de figuras ilustrativas dos equipamentos utilizados no processo de controlo regular e aferição das diferentes alturas de humidade ascensional nas superfícies do provete com camada de reboco, desde a figura 3.43 à figura 3.48.



Figuras 3.43 e 3.44 – Câmara termográfica “Fluke” TIR 27 (IR Fusion Technology).



Figuras 3.45 e 3.46 – Exemplos de fotografias tiradas ao provete no interior da câmara de cura.



Figura 3.47 – Humidímetro de contacto “Tramex”.



Figura 3.48 – Empilhador “Toyota”.

3.4.1 – Tipologia 1.a) em ambiente natural

Este ensaio foi concretizado no interior do Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico à temperatura ambiente, estando sujeito a variações de temperatura e a variações de humidade relativa do ar, pois habitualmente estava aberto o portão de acesso à Av^a. Alves Redol.

O provete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia, tinha como características a ausência de reboco em todas as faces, e estando no interior do laboratório, não teve qualquer anteparo ou proteção adicional.

O provete esteve inserido numa tina metálica, parcialmente preenchida com água e com altura inicial de 0,03 m, promovendo-se as condições de materialização às humidades ascensionais.

Sempre que necessário repôs-se o nível de água na tina com altura total de 0,03 m.

Foram registados diariamente os progressos das humidades ascensionais nas quatro faces do murete, marcando-se os pontos de fronteira entre as superfícies húmidas e as superfícies secas.

De seguida mediram-se as alturas máximas em cada face, das superfícies húmidas resultantes da absorção capilar.

O ensaio ficou concluído quando se verificou uma estagnação das alturas máximas registadas, num período não inferior a 5 (cinco) dias e correspondente a um patamar máximo de 0,49 m.

Através das figuras 3.49 e 3.50 são perceptíveis as alturas de humidade ascensional nas superfícies do provete sem camada de reboco [tipologia 1.a)].



Figura 3.49 – Ensaio realizado no Laboratório de Construção.



Figura 3.50 – Ensaio realizado no Laboratório de Construção.

3.4.2 – Tipologia 1.b) em câmara controlada

Este ensaio foi concretizado no interior da câmara de cura do Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico, cujo provete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia, tinha como características a ausência de reboco em todas as faces.

O provete esteve inserido numa tina metálica, parcialmente preenchida com água e com altura inicial de 0,075 m, promovendo-se as condições de materialização às humidades ascensionais.

Sempre que necessário repôs-se o nível de água na tina com altura total de 0,075 m.

O aumento da altura da lâmina de água para 0,075 m, teve como objetivo de propiciar acrescidamente o fenómeno das humidades ascensionais no provete, incrementando-se ligeiramente a pressão hidrostática.

Com o objetivo de se proteger o provete das programadas e periódicas regas em spray, colocou-se externamente e na sua envolvente uma manta de plástico até ao pavimento.

Teve-se o cuidado extra de impedir que a lâmina de água da respetiva tina, fosse indevidamente alimentada com a água proveniente das regas habitualmente registadas no interior da câmara de cura. Para tal, a manta de plástico além de envolver na totalidade o provete e a tina, era disposta até ao pavimento, de forma a escoar a totalidade da água proveniente dos sprinklers.

Foram registados diariamente os progressos das humidades ascensionais nas quatro faces do murete, marcando-se as linhas de fronteira entre as superfícies húmidas e as superfícies secas.

Mediram-se as alturas máximas em cada face, das superfícies húmidas resultantes da absorção capilar.

O ensaio ficou concluído quando se verificou uma estagnação das alturas máximas registadas, no mínimo num período não inferior a 5 (cinco) dias e correspondente a um patamar máximo de 0,60 m.

Através da figura 3.51 ilustram-se as condições de armazenamento do provete na câmara de cura [tipologia 1.b)].



Figura 3.51 – Ensaio realizado em ambiente controlado de temperatura e humidade.

3.4.3 – Tipologia 2 em câmara controlada

Este ensaio foi concretizado no interior da câmara de cura do Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico, cujo provete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia, tinha como características a existência duma camada de reboco com 0,03 m de espessura média, numa das faces de maior área, de ora em diante designada por face “A”.

O provete esteve inserido numa tina metálica, parcialmente preenchida com água e com altura inicial de 0,075 m, promovendo-se as condições de materialização às humidades ascensionais.

Sempre que necessário repôs-se o nível de água na tina com altura total de 0,075 m.

Com o objetivo de se proteger o provete das programadas e periódicas regas em spray, colocou-se externamente e na sua envolvente uma manta de plástico até ao pavimento.

Teve-se o cuidado extra de impedir que a lâmina de água da respetiva tina, fosse indevidamente alimentada com a água proveniente das regas habitualmente registadas no interior da câmara de cura.

Foram registados diariamente os progressos das humidades ascensionais na face principal com reboco do murete, marcando-se as linhas de fronteira entre as superfícies húmidas e as superfícies secas.

Mediram-se as alturas máximas na designada face “A”, das superfícies húmidas resultantes da absorção capilar.

O ensaio ficou concluído quando se verificou uma estagnação das alturas máximas registadas, no mínimo num período não inferior a 5 (cinco) dias e correspondente a um patamar de 0,795 m.

3.4.4 – Tipologia 3 em câmara controlada

Este ensaio foi concretizado no interior da câmara de cura do Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico, cujo provete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia, tinha como características a existência duma camada de reboco com 0,03 m de espessura média, numa das faces de maior área, designada por face “A”, mas com a particularidade de na sua base e ao longo de todo o seu comprimento, ter sido cortado e removido integralmente o reboco, formando um “dente” com 0,15 m de altura.

É importante referir que em 20 de Maio de 2013 iniciou-se uma primeira tentativa de realização do designado ensaio de tipologia 3, tendo sido abortado pois em 31 de Maio de 2013 o provete estava molhado a partir do seu coroamento. Constatámos que a manta de plástico que o protegia tinha sido furada, pelo que inutilizou o prosseguimento dessa experiência.

Após limpeza e secagem completa do provete o mesmo foi introduzido na câmara de cura em 11 de Junho de 2013, dando-se início ao novo ensaio de tipologia 3.

O provete esteve inserido numa tina metálica, parcialmente preenchida com água e com altura inicial de 0,075 m, promovendo-se as condições de materialização às humidades ascensionais.

Sempre que necessário repôs-se o nível de água na tina com altura total de 0,075 m.

Com o objetivo de se proteger o provete das programadas e periódicas regas em spray, colocou-se externamente e na sua envolvente uma manta de plástico até ao pavimento.

Teve-se o cuidado extra de impedir que a lâmina de água da respetiva tina, fosse indevidamente alimentada com a água proveniente das regas habitualmente registadas no interior da câmara de cura.

Foram registados diariamente os progressos das humidades ascensionais na face principal com reboco do murete, marcando-se as linhas de fronteira entre as superfícies húmidas e as superfícies secas.

Mediram-se as alturas máximas na designada face “A”, das superfícies húmidas resultantes da absorção capilar.

O ensaio ficou concluído quando se verificou uma estagnação das alturas máximas registadas, no mínimo num período não inferior a 6 (seis) dias e correspondente a um patamar de 0,585 m.

3.4.5 – Tipologia 4 em câmara controlada

Este ensaio foi concretizado no interior da câmara de cura do Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico, cujo provete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia, tinha como características a existência duma camada de reboco com 0,03 m de espessura média, na outra das faces de maior área, de ora em diante designada por face “B”, sendo esta oposta à face “A”.

Também esta camada de reboco tinha como particularidade de na base, e ao longo de todo o seu comprimento, ter sido formado um “dente” com 0,15 m de altura.

Previamente aplicaram-se duas demãos de tinta de borracha líquida na designada face “B” – desde o coroamento até à base (incluindo a zona do “dente”) – antes da aplicação da camada de reboco.

Assim a diferença em relação à da tipologia 3 – resulta por esta ter uma segunda face rebocada (oposta à inicialmente executada), com prévia aplicação de duas demãos de tinta de membrana de borracha líquida, entre a superfície de maior área da alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia e a nova camada de reboco, também com 0,03 m de espessura média.

Para se garantir uma boa aderência da tinta de membrana de borracha à designada face “B” do provete, constituído por um murete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica e areia, efetuou-se uma limpeza da superfície a intervir, com escovagem da mesma através de uma vassoura de pelo de nylon e posterior passagem de ar comprimido.

Em 4 de Julho de 2013 com as superfícies do provete totalmente secas, foram aplicadas duas demãos de tinta de membrana de borracha líquida na designada face “B” (desde o coroamento até à base), incluindo na faixa da base (“dente”) com 0,15 m de altura.

Em 5 de Julho de 2013 foi aplicada uma camada de reboco com 0,03 m de espessura média na designada face “B”.

Após limpeza e secagem completa do provete o mesmo foi introduzido na câmara de cura em 16 de Setembro de 2013, dando-se início ao ensaio de tipologia 4.

Entretanto o laboratório de construção do Instituto Superior Técnico esteve encerrado para férias no período de 3 a 18 de Agosto de 2013.

O provete esteve inserido numa tina metálica, parcialmente preenchida com água e com altura inicial de 0,075 m, promovendo-se as condições de materialização às humidades ascensionais.

Sempre que necessário repôs-se o nível de água na tina com altura total de 0,075 m.

Com o objectivo de se proteger o provete das programadas e periódicas regas em spray, colocou-se externamente e na sua envolvente uma manta de plástico até ao pavimento.

Teve-se o cuidado extra de impedir que a lâmina de água da respetiva tina, fosse indevidamente alimentada com a água proveniente das regas habitualmente registadas no interior da câmara de cura.

O ensaio ficou concluído quando se verificou uma ausência de humidades ascensionais no provete num período de tempo equivalente a 10 (dez) dias e correspondente a um patamar de 0,00 m.

4 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

4.1 Apresentação dos resultados

Para melhor leitura dos dados obtidos, apresenta-se uma sequência gráfica das diferentes tipologias de ensaios realizados laboratorialmente no provete, constituído por um murete de alvenaria ordinária de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia.

SEQUÊNCIA EXPERIMENTAL

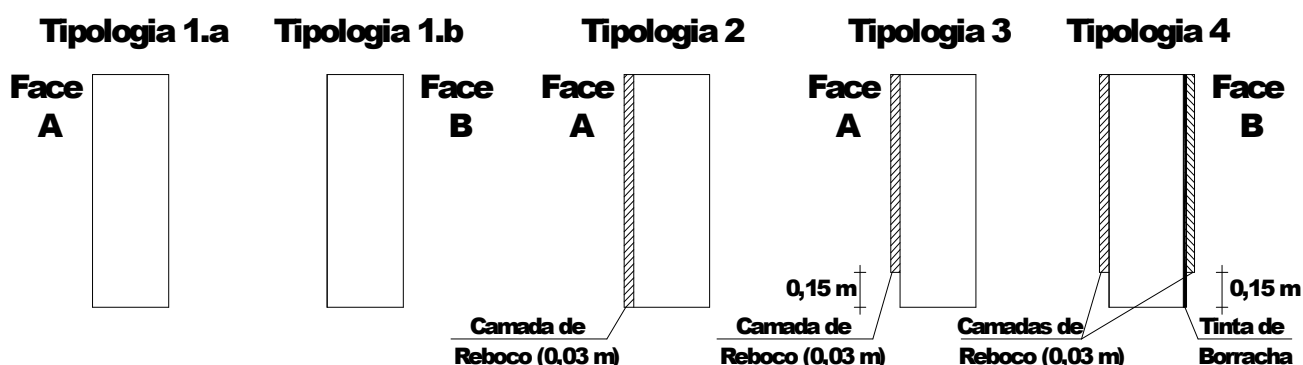


Figura 4.1 – Sequência experimental realizada no provete.

4.1.1 – Apresentação de resultados da tipologia 1.a) em ambiente natural

Conforme foi referido em 3.4.1, este primeiro ensaio foi realizado nos espaços interiores do Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico à temperatura ambiente.

O provete sujeito aos vários tipos de ensaio, conforme exposto no capítulo 3, era constituído por alvenaria de pedra ordinária e argamassa de cal hidráulica e areia, tendo o seguinte peso estimado:

$25 \text{ kN} / \text{m}^3$ (peso específico médio de alvenaria de calcário [10]) x 0,60 m (comprimento) x 0,40 m (largura) x 1,00 m (altura) = 6 kN.

Apesar de estar assente numa estrutura metálica de suporte com oito rodas acopladas e perante o peso do conjunto tornava-se difícil o seu deslocamento, materializando-se apenas com a utilização do empilhador do Laboratório de Construção.

Face a essa realidade incontornável, existindo apenas um provete, tentámos rentabilizar ao máximo as faces de maior superfície do provete (A e B) para as diferentes tipologias de ensaios.

Os registos de valores foram tomados diariamente, medindo-se as variações das alturas máximas das humidades ascensionais na superfície de maior área do provete designada por face “A”. Neste primeiro ensaio, dadas as condições ambientais acima referidas, entendeu-se não ser relevante o registo das alturas médias das humidades ascensionais na face “A”.

Mediu-se também a altura da lâmina de água no interior da tina, bem como a temperatura ambiente. Este ensaio iniciou-se em 18 de Fevereiro de 2013 tendo ficado concluído em 15 de Março de 2013.

No primeiro dia de ensaio efetuaram-se três medições em intervalos de tempo (60, 210 e 300 minutos), para se obter melhor perceção da velocidade de absorção de água por capilaridade no provete. Apresenta-se de seguida um quadro de resultados e figura correspondente.

Quadro 4.1 — Face “A” / Tipologia 1.a) em ambiente natural (de 18/02/2013 a 15/03/2013).

Data	18/02	18/02	18/02	18/02	19/02	20/02	21/02	22/02	25/02	26/02	27/02
Horas	12:00	13:00	15:30	17:00	16:30	14:00	16:00	14:30	16:30	14:15	15:00
Temperatura ambiente	15 °C	15 °C	15 °C	15 °C	17 °C	17 °C	18 °C	16 °C	14 °C	13 °C	12 °C
Nível de água na tina	---	0,3	0,5	1,2	1,5	1,7	1,6	1,5	1,5	2,0	2,7
Nível de água na tina após recarga (cm)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Altura máxima por capilaridade na face “A” (cm)	---	13,0	19,0	21,0	28,5	30,0	32,0	35,0	36,0	37,0	37,0

Tipologia 1.a

Face A



Figura 4.2 - Tipologia 1.a

Data	28/02	01/03	04/03	05/03	06/03	07/03	08/03	11/03	12/03	13/03	14/03	15/03
Horas	15:00	15:00	15:00	15:15	15:00	15:30	15:30	15:30	15:00	15:15	15:30	14:00
Temperatura ambiente	12 °C	14 °C	14 °C	16 °C	17 °C	17 °C	18 °C	17 °C	16 °C	14 °C	14 °C	15 °C
Nível de água na tina	2,8	2,0	2,9	2,6	2,4	2,0	2,8	2,8	2,3	2,6	2,6	2,7
Nível de água na tina após recarga (cm)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Altura máxima por capilaridade na face “A” (cm)	37,0	38,0	39,0	43,0	44,5	48,0	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0

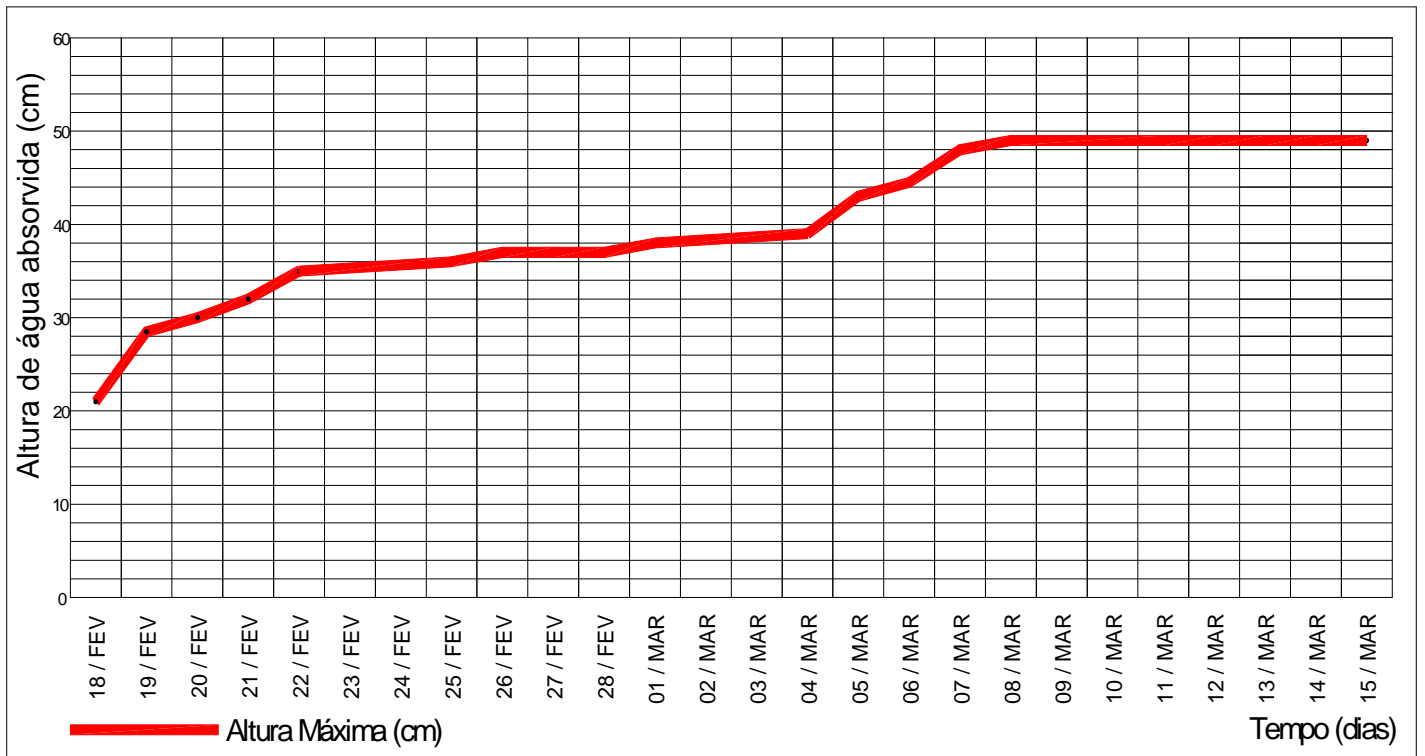


Figura 4.3 — Face "A" / Tipologia 1.a) em ambiente natural (de 18/02/2013 a 15/03/2013).

Em seguida apresenta-se uma sequência de figuras ilustrativas do ensaio relativo à tipologia 1.a), desde a figura 4.4 à figura 4.9.



Figura 4.4 – Ao fim de 1 hora.
(Leitura em 18/02/2013)



Figura 4.5 – Ao fim de 3,5 horas.
(Leitura em 18/02/2013)



Figura 4.6 – Ao fim de 5 horas.
(Leitura em 18/02/2013)



Figura 4.7 – Ao fim de 7 dias.
(Leitura em 25/02/2013)



Figura 4.8 – Ao fim de 15 dias.
(Leitura em 05/03/2013)



Figura 4.9 – Ao fim de 22 dias.
(Leitura em 12/03/2013)

4.1.2 – Apresentação de resultados da tipologia 1.b) em câmara controlada

Conforme foi referido em 3.4.2, este segundo ensaio foi realizado no interior da câmara de cura do Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico. Face à já comprovada dificuldade no deslocamento do provete, mais complicado se revelou a sua localização no interior da câmara de cura do Laboratório de Construção (por exemplo, ver figura 4.83).

Os espaços livres e confinantes ao provete eram muito diminutos e conseqüentemente quase impeditivos de se realizarem em simultâneo medições nas duas faces de maior superfície, designadas por A e B.

Por questões logísticas de tempo e espaço disponíveis, mediram-se as alturas máximas das superfícies húmidas resultantes da absorção capilar, na face de maior área do murete – designada por face “B” – oposta à anteriormente referida face “A”.

Os registos de valores foram tomados diariamente, medindo-se as variações das alturas máximas das humidades ascensionais, marcando-se as linhas de fronteira entre as superfícies húmidas e as superfícies secas. Calculou-se também a altura média das humidades ascensionais nessa designada face “B”. Considerou-se uma distância constante entre a superfície “B” do provete e a câmara fotográfica diariamente utilizada. Este ensaio iniciou-se em 17 de Abril de 2013 tendo ficado concluído em 7 de Maio de 2013.

No primeiro dia de ensaio efetuaram-se três medições em intervalos de tempo (90, 120 e 150 minutos), para se obter melhor perceção da velocidade de absorção de água por capilaridade no provete.

Apresenta-se de seguida um quadro de resultados e figura correspondente.

Quadro 4.2 — Face “B” / Tipologia 1.b) em câmara controlada (de 17/04/2013 a 07/05/2013).

Data	17/04	17/04	17/04	17/04	18/04	19/04	22/04	23/02	24/04
Horas	13:00	14:30	15:30	18:00	14:00	13:45	13:30	13:15	13:45
Altura máxima por capilaridade na face “B” (cm)	---	10,0	13,5	16,0	41,5	41,5	47,5	48,5	49,0
Altura média por capilaridade na face “B” (cm)	---	9,5	9,8	10,2	18,7	22,8	29,2	30,4	31,3
Área das humidades ascensionais na face “B” (cm ²)	---	570	588	612	1.122	1.368	1.750	1.821	1.872
Nível de água na tina após recarga (cm)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5

Tipologia 1.b



Face B

Figura 4.10 - Tipologia 1.b

Data	25/04	26/04	29/04	30/04	01/05	02/05	03/05	06/05	07/05
Horas	---	14:15	14:00	13:45	14:30	13:30	13:30	13:00	11:15
Altura máxima por capilaridade na face “B” (cm)	Feriado	49,0	49,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
Altura média por capilaridade na face “B” (cm)	Feriado	32,4	32,4	35,8	35,8	35,8	35,8	35,8	35,8
Área das humidades ascensionais na face “B” (cm ²)	Feriado	1.936	1.936	2.148	2.148	2.148	2.148	2.148	2.148
Nível de água na tina após recarga (cm)	---	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5

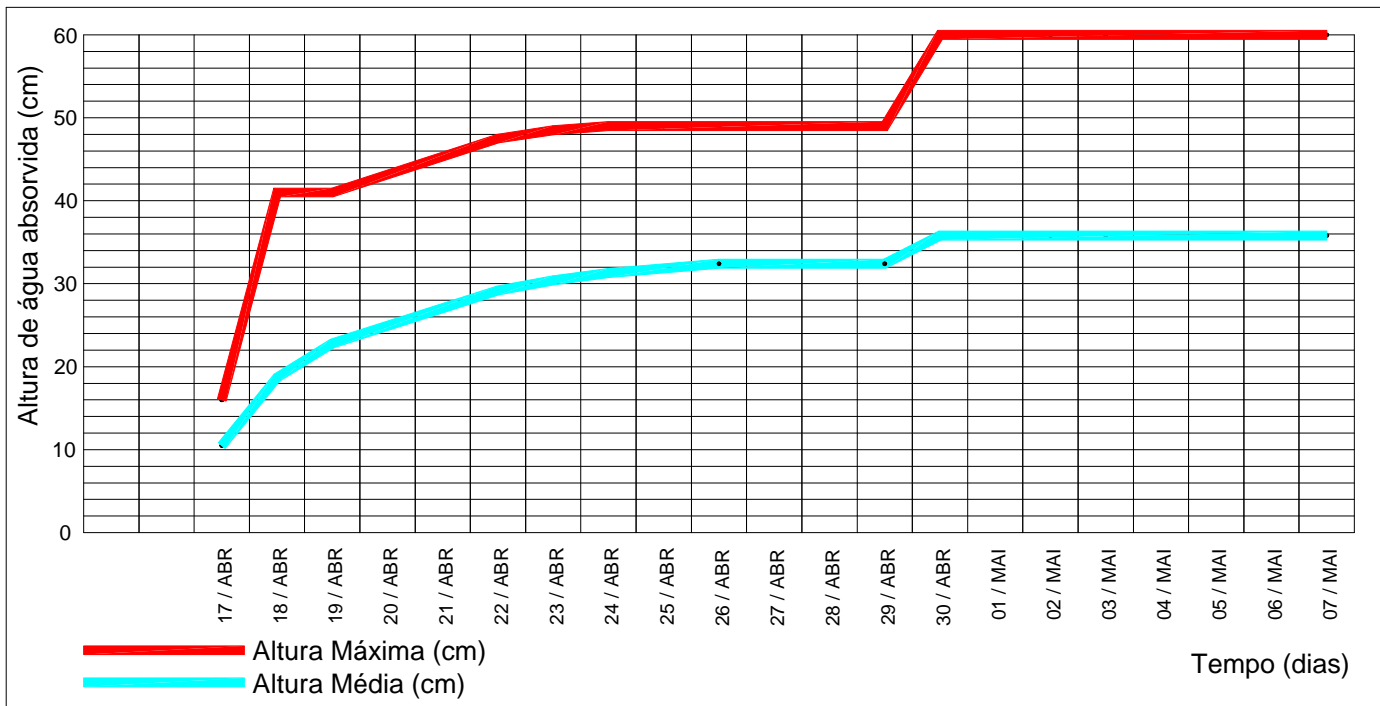


Figura 4.11 — Face “B” / Tipologia 1.b) em câmara controlada (de 17/04/2013 a 07/05/2013).

Em seguida apresenta-se uma sequência de figuras ilustrativas do ensaio relativo à tipologia 1.b), desde a figura 4.12 à figura 4.23.



Figura 4.12 – Ao fim de 2,5 horas.
(Leitura em 17/04/2013)



Figura 4.13 – Ao fim de 5 horas.
(Leitura em 17/04/2013)



Figura 4.14 – Ao fim de 1 dia.
(Leitura em 18/04/2013)



Figura 4.15 – Ao fim de 1 dia.
(Leitura em 18/04/2013)



Figura 4.16 – Ao fim de 5 dias.
(Leitura em 22/04/2013)



Figura 4.17 – Ao fim de 5 dias.
(Leitura em 22/04/2013)



Figura 4.18 – Ao fim de 7 dias.
(Leitura em 24/04/2013)



Figura 4.19 – Ao fim de 12 dias.
(Leitura em 29/04/2013)



Figura 4.20 – Ao fim de 12 dias.
(Leitura em 29/04/2013)



Figura 4.21 – Ao fim de 15 dias.
(Leitura em 02/05/2013)



Figura 4.22 – Ao fim de 16 dias.
(Leitura em 03/05/2013)



Figura 4.23 – Ao fim de 19 dias.
(Leitura em 06/05/2013)

4.1.3 – Apresentação de resultados da tipologia 2 em câmara controlada

Conforme foi referido em 3.4.3, este terceiro ensaio foi realizado no interior da câmara de cura do Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico.

Os registos de valores foram tomados diariamente, medindo-se as variações das alturas máximas das humidades ascensionais, marcando-se as linhas de fronteira entre as superfícies húmidas e as superfícies secas.

Mediram-se as alturas máximas das superfícies húmidas resultantes da absorção capilar, na face de maior área do murete, designada por face “A”; face essa cujo provete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia, tinha como características a existência duma camada de reboco com 0,03 m de espessura média.

Calculou-se também a altura média das humidades ascensionais nessa designada face “A”.

Considerou-se uma distância constante entre a superfície “A” do provete e a câmara fotográfica diariamente utilizada.

Assim a superfície alvo distava sempre 1,25 metros da objetiva da câmara fotográfica.

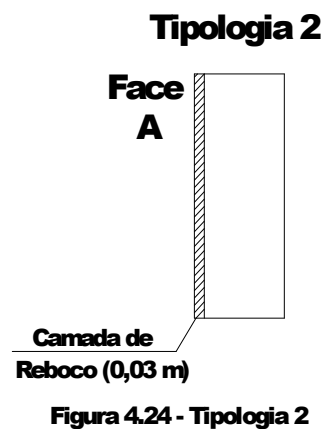
Este ensaio iniciou-se em 17 de Abril de 2013 tendo ficado concluído em 7 de Maio de 2013.

No primeiro dia de ensaio efetuaram-se três medições em intervalos de tempo (90, 120 e 150 minutos), para se obter melhor perceção da velocidade de absorção de água por capilaridade no provete.

Apresenta-se de seguida um quadro de resultados e figura correspondente.

Quadro 4.3 — Face “A” / Tipologia 2 em câmara controlada (de 17/04/2013 a 07/05/2013).

Data	17/04	17/04	17/04	17/04	18/04	19/04	22/04	23/02	24/04
Horas	13:00	14:30	15:30	18:00	14:00	13:45	13:30	13:15	13:45
Altura máxima por capilaridade na face “A” (cm)	---	11,0	15,0	19,0	31,0	39,5	58,5	59,0	65,5
Altura média por capilaridade na face “A” (cm)	---	10,0	14,8	19,0	29,3	37,3	54,2	55,1	62,9
Área das humidades ascensionais na face “A” (cm ²)	---	600	888	972	1.758	2.238	3.252	3.306	3.774
Nível de água na tina após recarga (cm)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5



Data	25/04	26/04	29/04	30/04	01/05	02/05	03/05	06/05	07/05
Horas	---	14:15	14:00	13:45	14:30	13:30	13:30	13:00	11:15
Altura máxima por capilaridade na face “A” (cm)	Feriado	74,0	79,5	79,5	79,5	79,5	79,5	79,5	79,5
Altura média por capilaridade na face “A” (cm)	Feriado	67,3	71,9	74,2	74,9	76,0	76,0	76,0	76,0
Área das humidades ascensionais na face “A” (cm ²)	Feriado	4.038	4.314	4.452	4.494	4.560	4.560	4.560	4.560
Nível de água na tina após recarga (cm)	---	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5

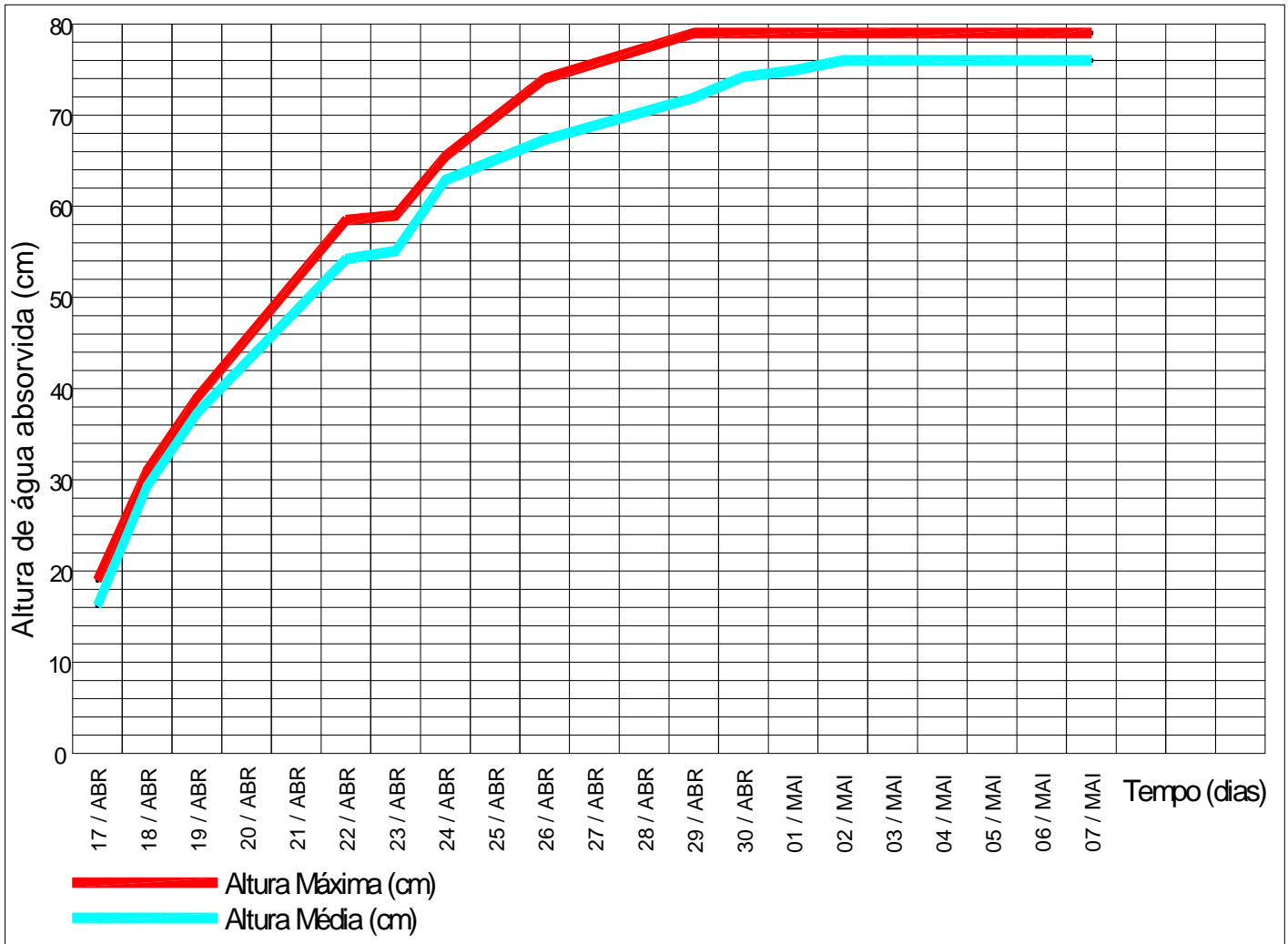


Figura 4.25 — Face “A” / Tipologia 2 em câmara controlada (de 17/04/2013 a 07/05/2013).

Em seguida apresenta-se uma sequência de figuras ilustrativas do ensaio relativo à tipologia 2, desde a figura 4.26 à figura 4.52.



Figura 4.26 – Ao fim de 2,5 horas.
(Leitura em 17/04/2013)



Figura 4.27 – Ao fim de 2,5 horas.
(Leitura em 17/04/2013)



Figura 4.28 – Ao fim de 5 horas.
(Leitura em 17/04/2013)



Figura 4.29 – Ao fim de 5 horas.
(Leitura em 17/04/2013)



Figura 4.30 – Ao fim de 1 dia.
(Leitura em 18/04/2013)



Figura 4.31 – Ao fim de 1 dia.
(Leitura em 18/04/2013)



Figura 4.32 – Ao fim de 2 dias.
(Leitura em 19/04/2013)



Figura 4.33 – Ao fim de 2 dias.
(Leitura em 19/04/2013)



Figura 4.34 – Ao fim de 5 dias.
(Leitura em 22/04/2013)



Figura 4.35 – Ao fim de 5 dias.
(Leitura em 22/04/2013)

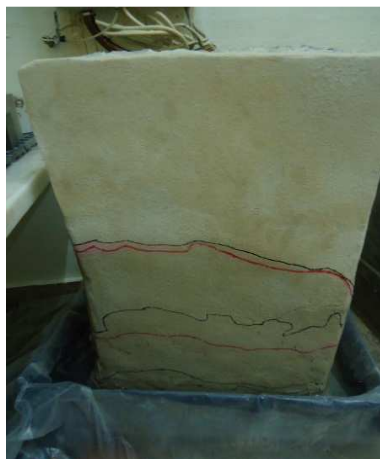


Figura 4.36 – Ao fim de 6 dias.
(Leitura em 23/04/2013)



Figura 4.37 – Ao fim de 6 dias.
(Leitura em 23/04/2013)



Figura 4.38 – Ao fim de 7 dias.
(Leitura em 24/04/2013)



Figura 4.39 – Ao fim de 7 dias.
(Leitura em 24/04/2013)

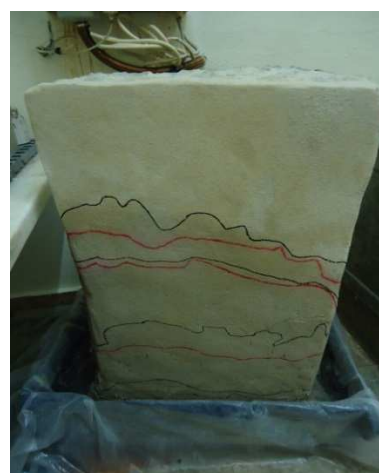


Figura 4.40 – Ao fim de 9 dias.
(Leitura em 26/04/2013)

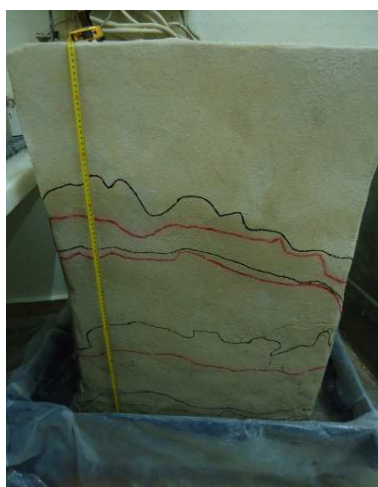


Figura 4.41 – Ao fim de 9 dias.
(Leitura em 26/04/2013)

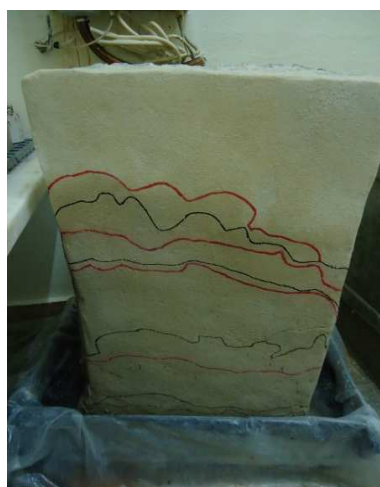


Figura 4.42 – Ao fim de 12 dias.
(Leitura em 29/04/2013)

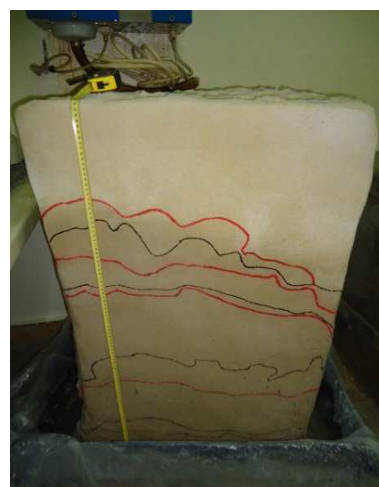


Figura 4.43 – Ao fim de 12 dias.
(Leitura em 29/04/2013)

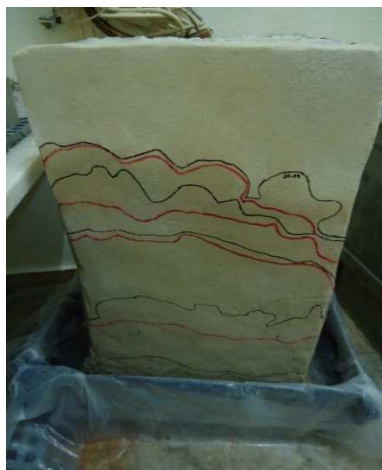


Figura 4.44 – Ao fim de 13 dias.
(Leitura em 30/04/2013)

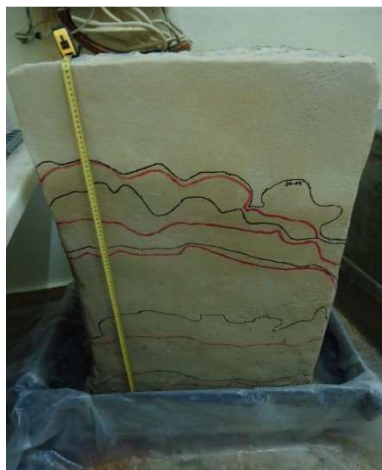


Figura 4.45 – Ao fim de 13 dias.
(Leitura em 30/04/2013)



Figura 4.46 – Ao fim de 15 dias.
(Leitura em 01/05/2013)

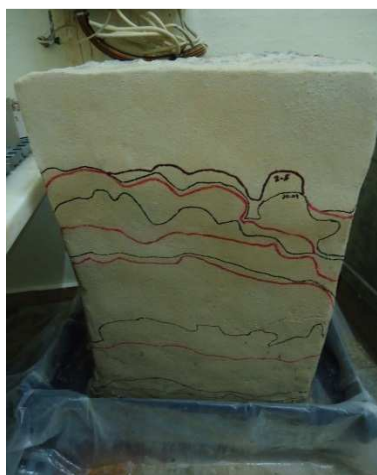


Figura 4.47 – Ao fim de 16 dias.
(Leitura em 02/05/2013)

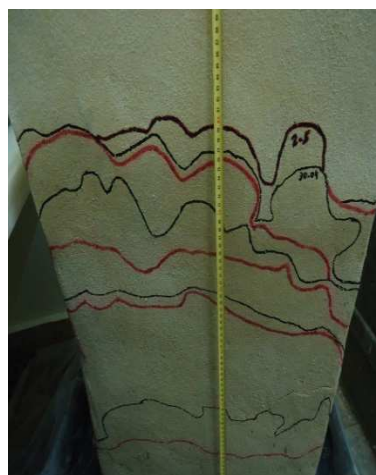


Figura 4.48 – Ao fim de 16 dias.
(Leitura em 02/05/2013)



Figura 4.49 – Ao fim de 17 dias.
(Leitura em 03/05/2013)



Figura 4.50 – Ao fim de 20 dias.
(Leitura em 06/05/2013)

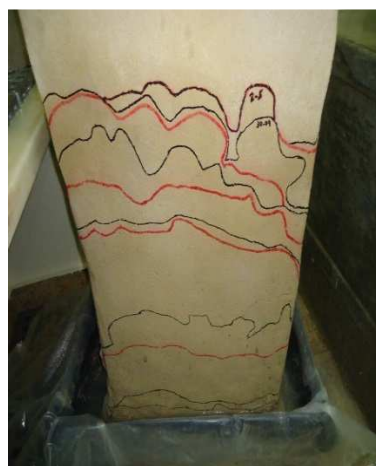


Figura 4.51 – Ao fim de 20 dias.
(Leitura em 06/05/2013)

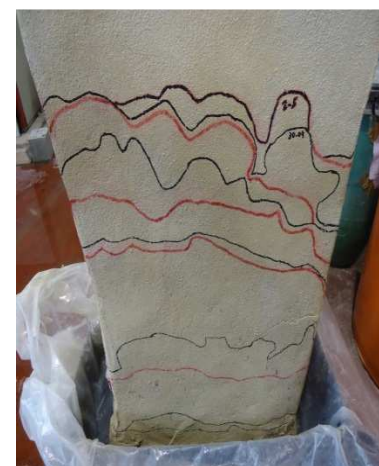


Figura 4.52 – Ao fim de 21 dias.
(Leitura em 07/05/2013)

4.1.4 – Apresentação de resultados da tipologia 3 em câmara controlada

Conforme foi referido em 3.4.4, este quarto ensaio foi realizado no interior da câmara de cura do Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico.

Os registos de valores foram tomados diariamente, medindo-se as variações das alturas máximas das humidades ascensionais, marcando-se as linhas de fronteira entre as superfícies húmidas e as superfícies secas.

Mediram-se as alturas máximas das superfícies húmidas resultantes da absorção capilar, na face de maior área do murete, designada por face “A”; face essa cujo provete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia, tinha como características a existência duma camada de reboco com 0,03 m de espessura média e fundamentalmente na sua base e ao longo de todo o seu comprimento, ter sido cortado e removido integralmente o reboco, formando um “dente” com 0,15 m de altura.

Calculou-se também a altura média das humidades ascensionais nessa designada face “A”.

Considerou-se uma distância constante entre a superfície “A” do provete e a câmara fotográfica diariamente utilizada.

Assim a superfície alvo distava sempre 1,25 metros da objetiva da câmara fotográfica.

Este ensaio iniciou-se em 10 de Junho de 2013 tendo ficado concluído em 2 de Julho de 2013.

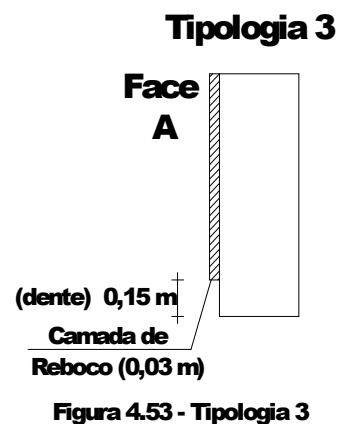
É importante referir que, anteriormente à realização do presente ensaio, houve uma tentativa inicialmente abortada entre 20 de Maio e 29 de Maio de 2013, devido à rotura do plástico de proteção do provete e consequente inundação do mesmo, perante a frequente irrigação dos sprinklers existentes na câmara de cura do laboratório de construção do Instituto Superior Técnico.

Daí haverem anteriores registos na superfície de reboco da face “A”, a cores alternadas de verde e azul, correspondentes às linhas de fronteira verificadas no mencionado ensaio abortado.

Apresenta-se de seguida um quadro de resultados e figura correspondente.

Quadro 4.4 — Face “A” / Tipologia 3 em câmara controlada (de 10/06/2013 a 02/07/2013).

Data	10/06	11/06	12/06	13/06	14/06	17/06	18/06	19/06	20/06
Horas	---	15:00	16:00	14:00	15:00	13:30	14:00	16:45	12:45
Altura máxima por capilaridade na face “A” (cm)	Feriado	---	24,0	28,0	35,0	41,0	42,0	42,0	43,0
Altura média por capilaridade na face “A” (cm)	Feriado	---	16,4	17,7	19,3	22,0	22,6	29,0	30,8
Área das humidades ascensionais na face “A” (cm ²)	Feriado	---	85,8	160	260	421	458	837	945
Nível de água na tina após recarga (cm)	--	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5



Data	21/06	24/06	25/06	26/06	27/06	28/06	01/07	02/07
Horas	12:45	16:30	16:00	10:45	11:15	14:00	10:15	10:00
Altura máxima por capilaridade na face “A” (cm)	46,0	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5
Altura média por capilaridade na face “A” (cm)	32,2	39,8	42,5	43,3	43,3	43,3	43,3	43,3
Área das humidades ascensionais na face “A” (cm ²)	1.033	1.490	1.649	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700
Nível de água na tina após recarga (cm)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5

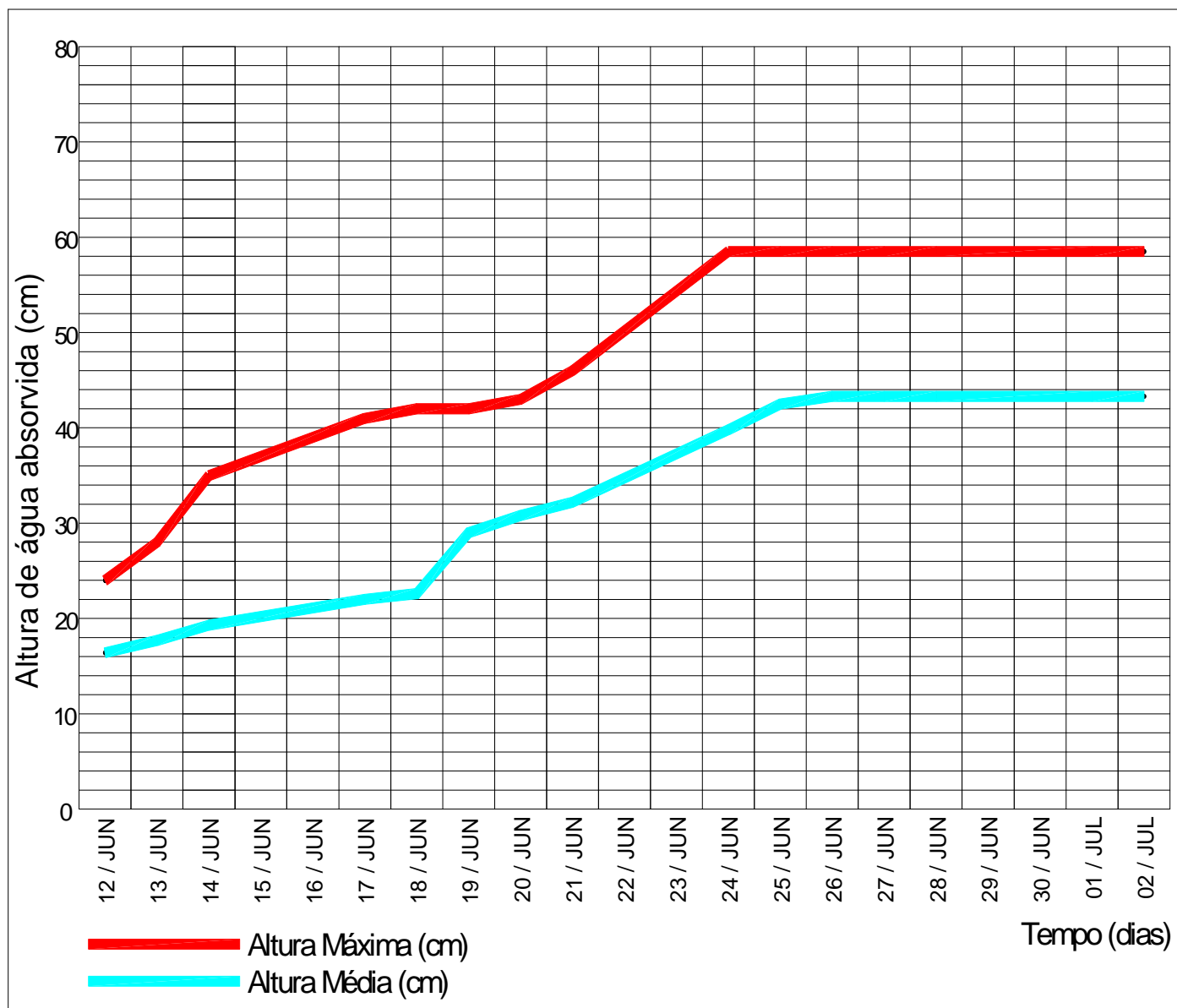


Figura 4.54 — Face “A” / Tipologia 3 em câmara controlada (de 12/06/2013 a 02/07/2013).

Em seguida apresenta-se uma sequência de figuras ilustrativas do ensaio relativo à tipologia 3, desde a figura 4.55 à figura 4.78.

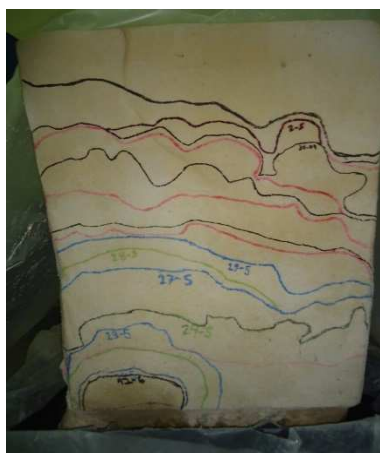


Figura 4.55 – Ao fim de 1 dia.
(Leitura em 12/06/2013)



Figura 4.56 – Ao fim de 1 dia.
(Leitura em 12/06/2013)



Figura 4.57 – Ao fim de 1 dia.
(Leitura em 12/06/2013)

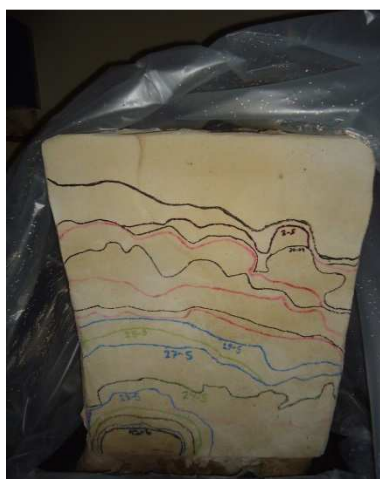


Figura 4.58 – Ao fim de 2 dias.
(Leitura em 13/06/2013)



Figura 4.59 – Ao fim de 2 dias.
(Leitura em 13/06/2013)

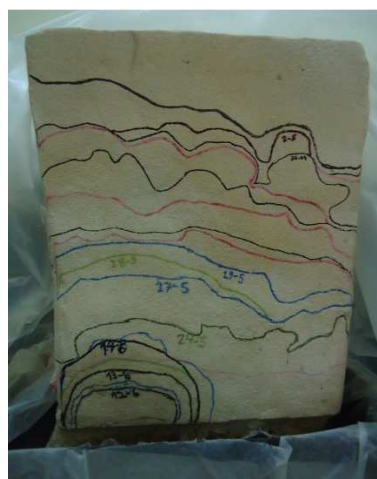


Figura 4.60 – Ao fim de 3 dias.
(Leitura em 14/06/2013)

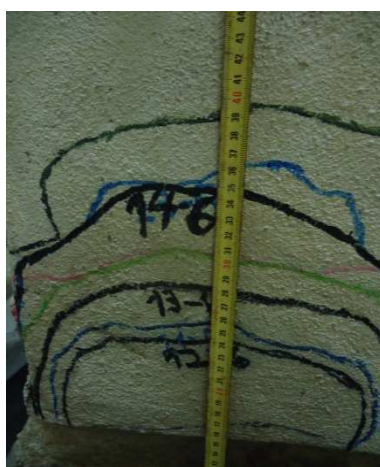


Figura 4.61 – Ao fim de 3 dias.
(Leitura em 14/06/2013)

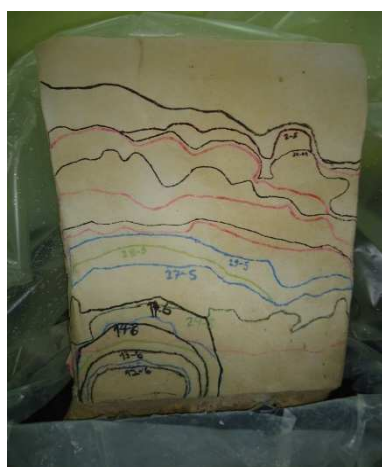


Figura 4.62 – Ao fim de 6 dias.
(Leitura em 17/06/2013)



Figura 4.63 – Ao fim de 6 dias.
(Leitura em 17/06/2013)

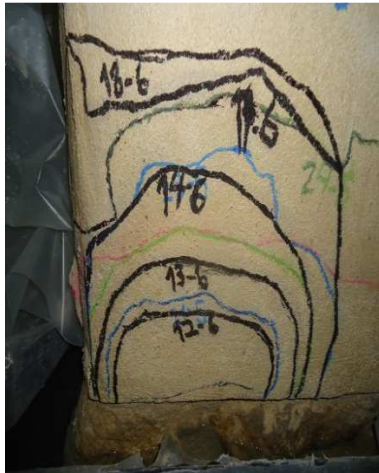


Figura 4.64 – Ao fim de 7 dias.
(Leitura em 18/06/2013)



Figura 4.65 – Ao fim de 7 dias.
(Leitura em 18/06/2013)

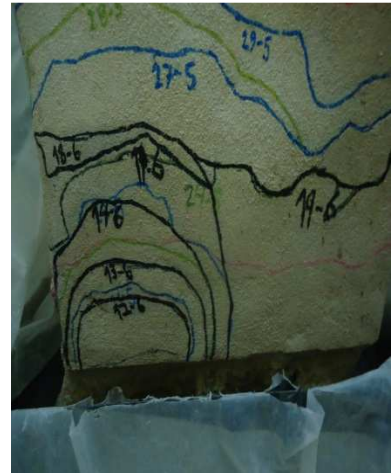


Figura 4.66 – Ao fim de 8 dias.
(Leitura em 19/06/2013)

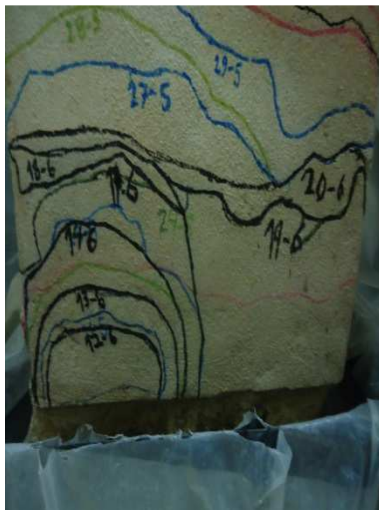


Figura 4.67 – Ao fim de 9 dias.
(Leitura em 20/06/2013)



Figura 4.68 – Ao fim de 9 dias.
(Leitura em 20/06/2013)

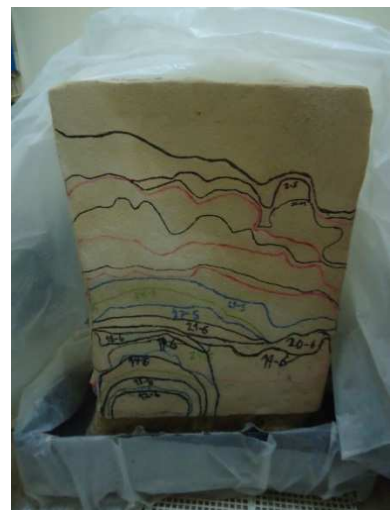


Figura 4.69 – Ao fim de 10 dias.
(Leitura em 21/06/2013)



Figura 4.70 – Ao fim de 10 dias.
(Leitura em 21/06/2013)

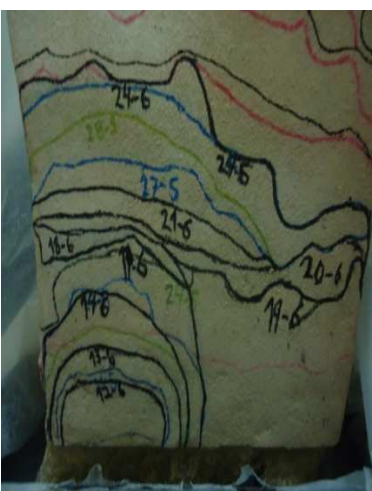


Figura 4.71 – Ao fim de 13 dias.
(Leitura em 24/06/2013)



Figura 4.72 – Ao fim de 13 dias.
(Leitura em 24/06/2013)

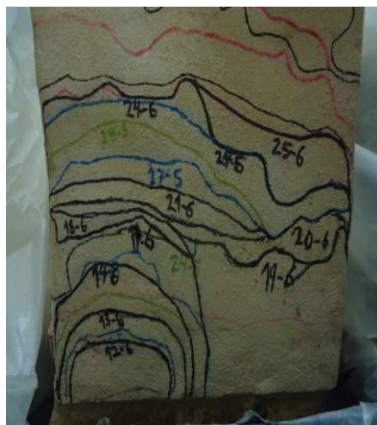


Figura 4.73 – Ao fim de 14 dias.
(Leitura em 25/06/2013)

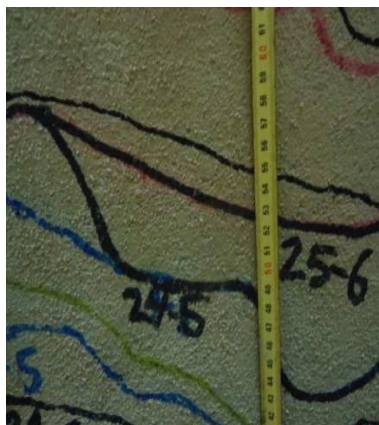


Figura 4.74 – Ao fim de 14 dias.
(Leitura em 25/06/2013)



Figura 4.75 – Ao fim de 15 dias.
(Leitura em 26/06/2013)



Figura 4.76 – Ao fim de 17 dias.
(Leitura em 28/06/2013)

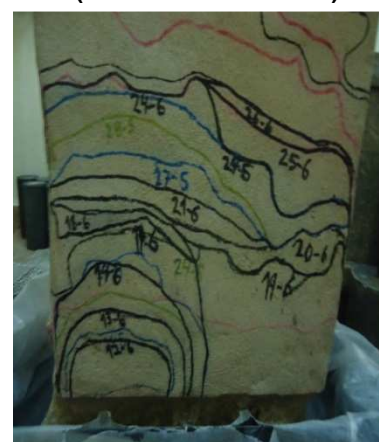


Figura 4.77 – Ao fim de 20 dias.
(Leitura em 01/07/2013)

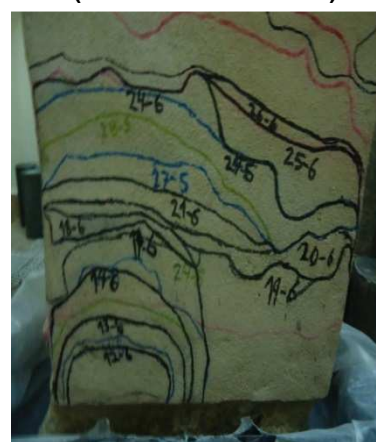


Figura 4.78 – Ao fim de 20 dias.
(Leitura em 01/07/2013)

4.1.5 – Apresentação de resultados da tipologia 4 em câmara controlada

Conforme foi referido em 3.4.5, este quinto ensaio foi realizado no interior da câmara de cura do Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico. Os registos de valores foram tomados diariamente. Considerou-se uma distância constante entre a superfície “B” do provete e a câmara fotográfica diariamente utilizada. Assim a superfície alvo distava sempre 1,25 metros da objetiva da câmara fotográfica. Este ensaio iniciou-se em 16 de Setembro tendo ficado concluído em 27 de Setembro de 2013.

Assim a diferença em relação à da tipologia 3 – resulta por esta experiência ter uma segunda face rebocada, designada por face “B” (oposta à inicialmente executada, designada por face “A”), com prévia aplicação de duas demãos de tinta de borracha líquida, entre a superfície de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia e a nova camada de reboco, também com 0,03 m de espessura média. Também esta camada de reboco tinha como particularidade de na base do provete, e ao longo de todo o seu comprimento, ter sido formado um “dente” com 0,15 m de altura.

Previamente aplicaram-se duas demãos de tinta de borracha líquida na designada face “B” – desde o coroamento até à base (incluindo a zona do “dente”) – antes da aplicação da camada de reboco. Apresenta-se de seguida um quadro de resultados e figura correspondente.

Quadro 4.5 — Face “B” / Tipologia 4 em câmara controlada (de 16/09/2013 a 27/09/2013).

Data	16/09	17/09	18/09	19/09	20/09
Horas	11:30	11:00	10:00	11:00	14:30
Altura máxima por capilaridade na face “B” (cm)	---	0,0	0,0	0,0	0,0
Altura média por capilaridade na face “B” (cm)	---	0,0	0,0	0,0	0,0
Área das humidades ascensionais na face “B” (cm ²)	---	0,0	0,0	0,0	0,0
Nível de água na tina após recarga (cm)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5

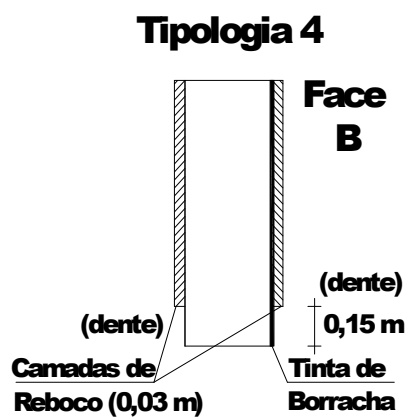


Figura 4.79 - Tipologia 4

Data	23/09	24/09	25/09	26/09	27/09
Horas	14:30	11:00	10:30	11:00	11:30
Altura máxima por capilaridade na face “B” (cm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Altura média por capilaridade na face “B” (cm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Área das humidades ascensionais na face “B” (cm ²)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nível de água na tina após recarga (cm)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5

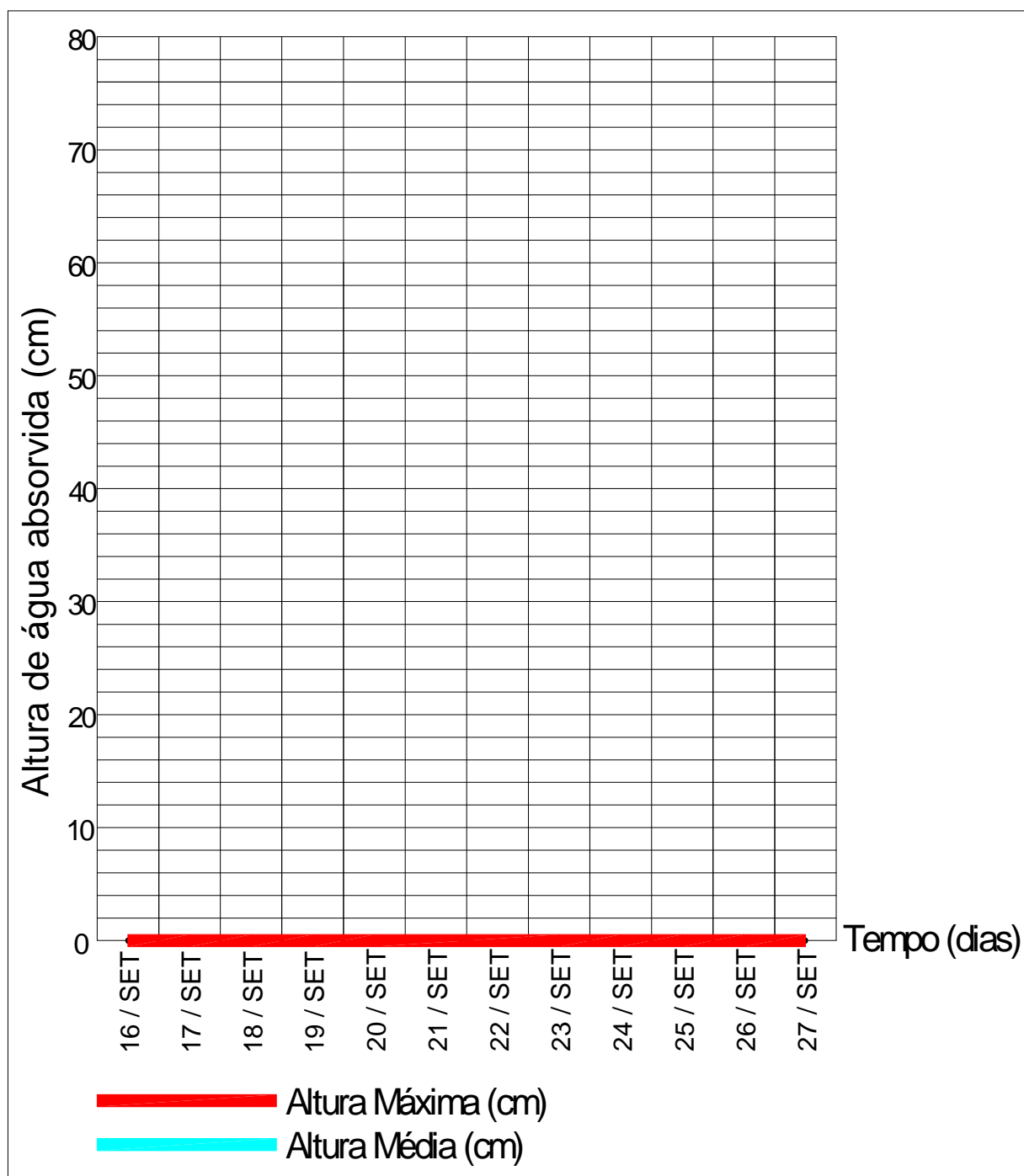


Figura 4.80 — Face “B” / Tipologia 4 em câmara controlada (de 16/09/2013 a 27/09/2013).

Em seguida apresenta-se uma sequência de figuras ilustrativas do ensaio relativo à tipologia 4, desde a figura 4.81 à figura 4.92.

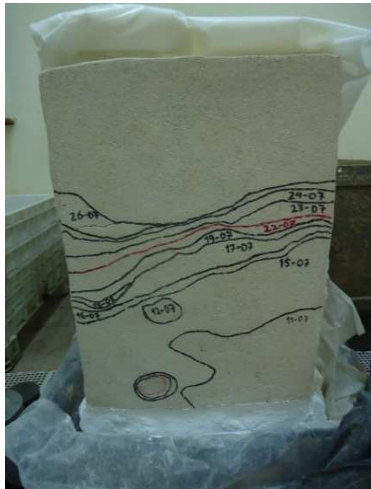


Figura 4.81 – Ao fim de 1 hora.
(Leitura em 16/09/2013)



Figura 4.82 – Ao fim de 1 dia.
(Leitura em 17/09/2013)



Figura 4.83 – (Pormenor de proteção do provete em 18/09/2013)

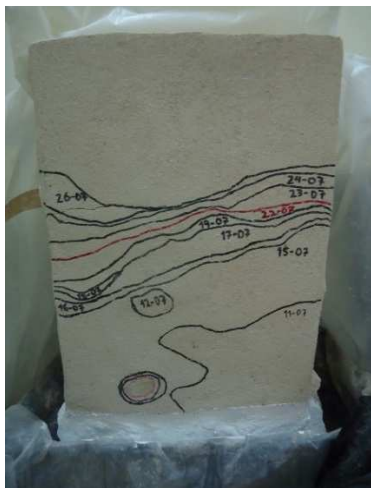


Figura 4.84 – Ao fim de 3 dias.
(Leitura em 19/09/2013)



Figura 4.85 – Ao fim de 4 dias.
(Leitura em 20/09/2013)

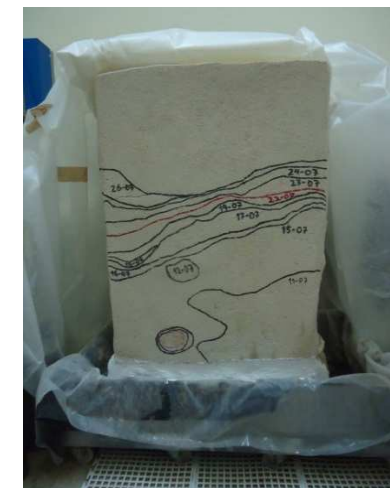


Figura 4.86 – Ao fim de 7 dias.
(Leitura em 23/09/2013)



Figura 4.87 – Ao fim de 8 dias.
(Leitura em 24/09/2013)

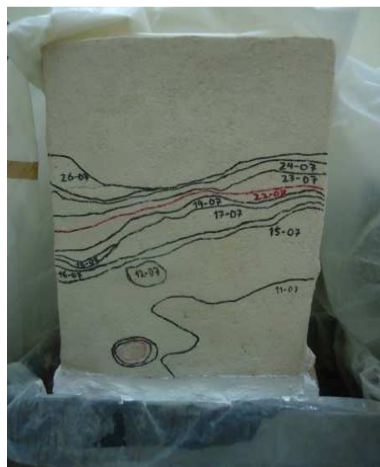


Figura 4.88 – Ao fim de 9 dias.
(Leitura em 25/09/2013)



Figura 4.89 – Ao fim de 10 dias.
(Leitura em 26/09/2013)

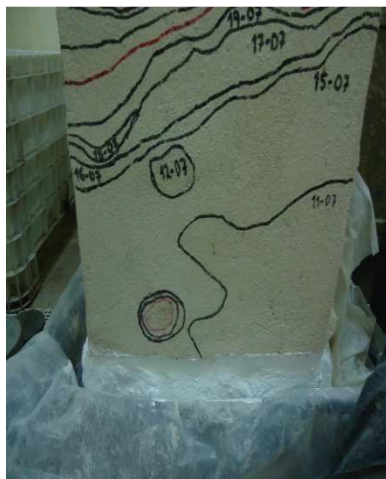


Figura 4.90 – Ao fim de 11 dias.
(Leitura em 27/09/2013)



Figura 4.91 – Ao fim de 11 dias.
(Leitura em 27/09/2013)



Figura 4.92 – Pormenor de localização na câmara de cura.

4.2 Discussão dos resultados experimentais

4.2.1 – Tipologia 1.a) em ambiente natural

Analisando-se a figura 4.3 constata-se uma progressão relevante dos valores máximos de água absorvida na face “A” do provete, entre o dia 4 e o dia 7 de Março.

Uma possível explicação prende-se com a existência de estruturas de porosidade aberta nos materiais que constituem o murete de alvenaria ordinária de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia.

Constatou-se que no período referido, o incremento superficial e visível das áreas húmidas foi registado agilmente nas áreas correspondentes às argamassas (espaços entre as pedras calcárias).

À superfície, como a argamassa se desenvolve em espaços confinantes às pedras (espaços similares a juntas), o seu contributo em termos de área total humidificada foi reduzido, no entanto em termos de progressão da altura de água absorvida foi significativa.

Essa circunstância foi verificada por diversas vezes, tendo sido registada fotograficamente, como exemplo através das figuras 3.49, 3.50, 4.22 e 4.23.

Na face “A” do murete só após cinco dias é que as citadas “vidraças” ficaram visivelmente humedecidas, registando uma absorção mais lenta, devido ao menor índice de porosidade ϵ (m^3/m^3), comparativamente ao da argamassa de cal, respectivamente, (0,5% – 20%) e (26%).

Reforçando essa conclusão, de acordo com Freitas *et al* [11] um material é mais ou menos permeável em função da dimensão e geometria dos poros. No interior dos materiais de construção com porosidade aberta, os vazios comunicam entre si, permitindo a circulação de fluídos no seu interior. Os poros de menor dimensão num material com porosidade aberta absorvem a água com maior

altura de ascensão capilar em equilíbrio, pois de acordo com as equações (Eq. 2.2 e Eq. 2.4), tanto a pressão capilar, como a altura de ascensão capilar são inversamente proporcionais ao raio capilar.

Normalmente a dimensão média dos poros numa argamassa varia entre 0,2 μm e 2,0 μm (microporos), enquanto que a dimensão média dos poros numa rocha calcária varia entre 2,0 μm e 50,0 μm .

De acordo com Freitas [1], a interface entre os diferentes materiais em contacto – neste caso entre a argamassa de cal e a pedra calcária – introduz com frequência uma resistência ao transporte de humidade, que não é fácil de prever ou quantificar.

Deixa de existir uma condição de continuidade pois são materiais distintos, reflectindo-se numa situação de descontinuidade hidráulica, face às duas estruturas porosas serem diferenciadas.

Da análise dos resultados relativos à tipologia 1.a) em ambiente natural, é possível afirmar que:

- conforme referido em 3.4.1 o ensaio foi concretizado no interior do Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico à temperatura ambiente, tendo o provete estado sujeito a variações de temperatura (desde 12 °C a 18 °C), a variações de humidade relativa do ar, bem como à exposição de ventos fortes registados em alguns dias da experiência.

Como o portão do Laboratório de Construção que dá acesso à Av^a. Alves Redol é de grandes dimensões e estava continuamente aberto, a influência dos referidos ventos deve-se ter verificado em determinados momentos, criando condições suplementares de evaporação;

- comparando os valores da altura máxima absorvida por capilaridade em ambiente natural (49,0 cm), com os valores da altura máxima absorvida por capilaridade em ambiente controlado (60,0 cm), facilmente se deduz da diferença dos resultados obtidos na tipologia 1.a).

A diferença dos resultados obtidos era expectável, pois como os ensaios realizados na câmara de cura tinham um ambiente saturado (HR = 100%), as condições de evaporação são menores e consequentemente são maiores os valores das alturas máximas absorvidas por capilaridade.

Muito provavelmente em determinada altura, no provete atingiu-se um ponto de equilíbrio entre a quantidade de água absorvida e a quantidade de água evaporada diariamente, impedindo que a altura atingida pela água chegasse a níveis mais elevados;

- as condições de ensaio da tipologia 1.a) são notoriamente diferentes de todas as outras tipologias de ensaio, que por sua vez foram semelhantes entre si. No entanto optou-se por se comparar os resultados globais do ensaio de tipologia 1.a) com os resultados globais de todos os outros ensaios das restantes tipologias. (ver figuras 4.93 e 4.94)

4.2.2 – Tipologia 1.b) em câmara controlada

Analisando-se a figura 4.11 constata-se uma progressão rápida dos valores máximos de água absorvida na face “B” do provete, durante os dias 29 e 30 de Abril.

Constatou-se também que, nesse período a progressão expedita na face “B” das superfícies húmidas, foi registada nas áreas correspondentes às argamassas (espaços entre as pedras calcárias).

Essa circunstância foi verificada, encontrando-se convenientemente ilustrada, por comparação sequencial das fotografias, correspondentes às figuras 4.18, 4.19, 4.20 e 4.21.

À superfície, como a argamassa se desenvolve em espaços confinantes às pedras (espaços similares a juntas), o seu contributo em termos de área total humidificada foi reduzido, no entanto em termos de progressão da altura de água absorvida foi significativa.

Da análise dos resultados relativos à tipologia 1.b) em câmara controlada, é possível afirmar que:

- apesar de se tratar dum ambiente controlado com temperatura constante de 21 °C e humidade relativa HR = 100%, registaram-se dois patamares intermédios de altura máxima de água absorvida, o primeiro dos quais com a duração de um dia (de 18 a 19 de Abril de 2013) e o segundo patamar com a duração de cinco dias (de 24 a 29 de Abril de 2013);

- O primeiro patamar teve a duração de apenas um dia (espaço de tempo registado entre 18 e 19 de Abril), não sendo relevante e podendo ser facilmente assimilado na segunda fase de progressão das alturas máximas de água absorvida. A corroborar essa opinião, constata-se que apesar da altura máxima de água absorvida ter estabilizado nesse espaço de tempo, pelo contrário a altura média de água absorvida teve um incremento de 21,9%, passando dos 18,7 cm para os 22,8 cm na face “B” do provete;

- O segundo patamar teve a duração de cinco dias, espaço de tempo decorrido entre 24 e 29 de Abril, equivalendo a faixa inequivocamente consolidada e bem formada, até ao último período (acima mencionado) de progressão das superfícies húmidas correspondente aos dias 29 e 30 de Abril.

Tal como o referido em 4.2.1, a explicação para tal comportamento, deve-se também à heterogeneidade dos materiais que constituem o murete de alvenaria ordinária de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia.

Provavelmente antes de se concretizar o último impulso de progressão das superfícies húmidas na face “B” do provete, registou-se uma resistência hídrica, isto é, uma resistência na passagem da água dum material para o outro material, na interface entre os diferentes materiais em contacto, que não é fácil de prever ou quantificar;

- o terceiro patamar com a duração de sete dias (de 30 de Abril a 7 de Maio de 2013) correspondeu à estabilização da altura máxima de água absorvida e com valor máximo de 60,0 cm.

Este último patamar teve um desenvolvimento normal e naturalmente expectável;

- o primeiro troço de crescimento da altura máxima de água absorvida teve um desenvolvimento total de 69,2 % (41,5 cm em 60,0 cm) em apenas um dia (de 17 a 18 de Abril de 2013);

- a segunda fracção de crescimento da altura máxima de água absorvida teve um desenvolvimento total de 12,5 % (7,5 cm em 60,0 cm) em cinco dias (de 19 a 24 de Abril de 2013);

- a terceira e última parcela de crescimento da altura máxima de água absorvida teve um desenvolvimento total de 18,3 % (11,0 cm em 60,0 cm) em apenas um dia (29 a 30 de Abril de 2013);

- incluindo os dois patamares intermédios, a média de crescimento diário da altura máxima de água absorvida na face “B” do provete correspondeu a 4,62 cm;

- relativamente à altura média de água absorvida na face “B” do provete, constata-se a existência de um só patamar intermédio com a duração de três dias (de 26 a 29 de Abril de 2013);

- o segundo e último patamar com a duração de sete dias (de 30 de Abril a 7 de Maio de 2013) correspondeu à estabilização da altura média de água absorvida, correspondendo ao valor máximo de 35,8 cm;

- o primeiro troço de crescimento da altura média de água absorvida teve um desenvolvimento total de 90,5 % (32,4 cm em 35,8 cm) em nove dias (de 17 a 26 de Abril de 2013);

- o segundo troço de crescimento da altura média de água absorvida teve um desenvolvimento total de 9,5 % (3,4 cm em 35,8 cm) num dia (de 29 a 30 de Abril de 2013);

- incluindo o patamar intermédio, a média de crescimento diário da altura média de água absorvida na face “B” do provete corresponde a 2,75 cm.

4.2.3 – Tipologia 2 em câmara controlada

Da análise dos resultados relativos à tipologia 2 em câmara controlada, é possível afirmar que:

- em ambiente controlado com temperatura constante de 21 °C e humidade relativa HR = 100%, não se registou nenhum patamar intermédio da altura máxima de água absorvida na face “A” do provete. A explicação para tal comportamento, deve-se à homogeneidade dos materiais que constituem a camada de reboco na face “A” do provete;

- o troço de crescimento teve um registo total de 79,5 cm em doze dias (de 17 a 29 de Abril de 2013), a que correspondeu uma média de crescimento diário da altura máxima de água absorvida na face “A” do provete equivalente a 6,63 cm;

- o patamar com a duração de oito dias (de 29 de Abril a 7 de Maio de 2013) correspondeu à estabilização da altura máxima de água absorvida, correspondendo ao valor máximo de 79,5 cm;

- relativamente à altura média de água absorvida na face “A” do provete, constata-se também a inexistência de qualquer patamar intermédio;

- o troço de crescimento teve um registo total de 76,0 cm em quinze dias (de 17 de Abril a 2 de Maio de 2013), a que correspondeu uma média de crescimento diário da altura média de água absorvida na face “A” do provete equivalente a 5,07 cm;

- o patamar com a duração de cinco dias (de 2 a 7 de Maio de 2013) correspondeu à estabilização da altura média de água absorvida, correspondendo ao valor máximo de 76,0 cm;

- os valores obtidos na tipologia 2 relativamente à altura máxima de água absorvida na face “A” do provete (79,5 cm em 12 dias), são significativamente superiores aos valores obtidos na tipologia 1.b) relativamente à altura máxima de água absorvida na face “B” do provete (60,0 cm em 13 dias). Por sua vez a média de crescimento diário da altura máxima de água absorvida na tipologia 2 é equivalente a 6,63 cm e bastante superior à mesma média de crescimento diário da altura máxima de água absorvida na tipologia 1.b) correspondente a 4,62 cm. A explicação para tais diferenças de comportamento, deve-se sobre tudo à homogeneização e diminuição da porometria na camada superficial de reboco no provete, material eminentemente poroso que está em contacto direto com a água em fase líquida na tina. Sabe-se que o diâmetro dos poros numa argamassa varia essencialmente entre 0,2 μm e 2,0 μm (microporos). Confirma-se assim que quanto menor for o diâmetro dos tubos capilares, maior é a ascensão capilar como se demonstra no presente ensaio.

Apesar das características de fabrico da argamassa de cal hidráulica natural e areia serem iguais, quer para a construção do provete, quer para a construção da camada de reboco na designada face “A”, a camada de reboco tem uma rede capilar de malha aberta e uma estrutura porosa muito mais uniforme, comparativamente à da estrutura porosa dum provete constituído por alvenaria de pedra ordinária e argamassa de cal hidráulica natural e areia.

Ainda mais importante é o facto de na camada de reboco existente na face “A” do provete (ensaio de tipologia 2) não existirem juntas – logo não estando sujeita ao fenómeno de resistência da interface – em detrimento da heterogeneidade evidente de materiais e conseqüente profusão de juntas no provete da tipologia 1.b);

- os valores obtidos no ensaio da tipologia 2 relativamente à altura média de água absorvida na face “A” do provete (76,0 cm em 15 dias), são significativamente superiores aos valores obtidos no ensaio da tipologia 1.b) relativamente à altura média de água absorvida na face “B” do provete (35,8 cm em 13 dias). Por sua vez a média de crescimento diário da altura média de água absorvida na tipologia 2 é equivalente a 5,07 cm e bastante superior à mesma média de crescimento diário da altura média de água absorvida na tipologia 1.b) correspondente a 2,75 cm. A explicação para tais diferenças de comportamento corresponde à acima citada.

4.2.4 – Tipologia 3 em câmara controlada

Da análise dos resultados relativos à tipologia 3 em câmara controlada, é possível afirmar que:

- em ambiente controlado com temperatura constante de 21 °C e humidade relativa HR = 100%, registou-se apenas um patamar intermédio da altura máxima de água absorvida na face “A” do provete, com a duração de um dia (de 18 a 19 de Junho de 2013).

O patamar intermédio teve a duração de apenas um dia (espaço de tempo registado entre 18 e 19 de Junho), não sendo significativo e podendo ser facilmente assimilado na segunda fase de progressão das alturas máximas de água absorvida. Também a corroborar essa opinião, constata-se que apesar da altura máxima de água absorvida ter estabilizado nesse espaço de tempo (42,0 cm), pelo contrário a altura média de água absorvida teve um incremento de 28,3%, passando dos 22,6 cm para os 29,0 cm na face “A” do provete. Em síntese, na prática este ensaio teve apenas um e último patamar correspondendo à estabilização da altura máxima de água absorvida;

- o segundo e último patamar com a duração de oito dias (de 24 de Junho a 2 de Julho de 2013) correspondeu à estabilização da altura máxima de água absorvida, correspondendo ao valor máximo de 58,5 cm;

- o primeiro troço de crescimento da altura máxima de água absorvida teve um desenvolvimento total de 71,8 % (42,0 cm em 58,5 cm) em seis dias (de 12 a 18 de Junho de 2013);

- o segundo troço de crescimento da altura máxima de água absorvida teve um desenvolvimento total de 28,2 % (16,5 cm em 58,5 cm) em cinco dias (de 19 a 24 de Junho de 2013);

- incluindo o patamar intermédio, a média de crescimento diário da altura máxima de água absorvida na face “A” do provete correspondeu a 4,88 cm;

- relativamente à altura média de água absorvida na face “A” do provete, constata-se a inexistência de qualquer patamar intermédio;

- o troço de crescimento teve um registo total de 43,3 cm em catorze dias (de 12 a 26 de Junho de 2013), a que correspondeu uma média de crescimento diário da altura média de água absorvida na face “A” do provete equivalente a 3,09 cm;

- o patamar com a duração de seis dias (de 26 de Junho a 2 de Julho de 2013) correspondeu à estabilização da altura média de água absorvida, correspondendo ao valor máximo de 43,3 cm;

- os valores obtidos na tipologia 3 relativamente à altura máxima de água absorvida na face “A” do provete (58,5 cm em 12 dias), são significativamente inferiores aos valores obtidos na tipologia 2 relativamente à altura máxima de água absorvida na face “A” do provete (79,5 cm em 12 dias);

Por sua vez a média de crescimento diário da altura máxima de água absorvida na tipologia 3 é equivalente a 4,88 cm e bastante inferior à mesma média de crescimento diário da altura máxima de água absorvida na tipologia 2 correspondente a 6,63 cm.

Apesar de não se evitar a ascensão de água por capilaridade no provete, conclui-se que com a simples construção dum dente na base do reboco (evitando-se o contacto direto do reboco com a água na tina), reduz-se significativamente em 26,4 % a altura máxima atingida, passando-se dos 79,5 cm para os 58,5 cm;

- os valores obtidos na tipologia 3 relativamente à altura média de água absorvida na face “A” do provete (43,3 cm em 14 dias), são significativamente inferiores aos valores obtidos na tipologia 2 relativamente à altura média de água absorvida na face “A” do provete (76,0 cm em 15 dias).

- Por sua vez a média de crescimento diário da altura média de água absorvida na tipologia 3 é equivalente a 3,09 cm e bastante inferior à mesma média de crescimento diário da altura média de água absorvida na tipologia 2 correspondente a 5,07 cm;

- Confirma-se a mesma conclusão anterior, que com a simples construção dum dente na base do reboco (evita-se assim o contacto direto do reboco com a água na tina), reduz-se significativamente em 43,0 % a altura média atingida, passando-se dos 76,0 cm para os 43,3 cm;

- Quanto à aplicabilidade prática desta medida, poderá ser utilizada em edifícios antigos sem carácter patrimonial, em situações muito particulares, como por exemplo em caves, lojas (isto é, zonas de arrumações) e adegas.

4.2.5 – Tipologia 4 em câmara controlada

Da análise dos resultados relativos à tipologia 4 em câmara controlada, é possível afirmar que:

- em ambiente controlado com temperatura constante de 21 °C e humidade relativa HR = 100%, não foram detetadas quaisquer manifestações de água absorvida por capilaridade na face “B” do provete, num período correspondente a onze dias (de 16 a 27 de Setembro de 2013);

- com a utilização de um humidímetro de contacto de marca “Tramex”, mediu-se diariamente o teor de humidade na face “B” do provete, concluindo-se não terem sido detetados quaisquer vestígios de humidades no período de ensaio;

É de realçar a existência dum ambiente de saturação no interior da câmara de cura do Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico, agravando significativamente as condições reais de ensaio;

- Como foi cortada a camada de reboco na base da face “B” do provete, numa faixa com 0,15 m de altura e ao longo de todo o seu comprimento, formou-se um “dente” com o objetivo de se evitar o contacto direto da água com a referida camada de reboco. Dessa forma deixou de haver uma ascensão capilar da água na citada camada de reboco por via direta. Assim a ascensão capilar das humidades deve ter-se registado pela base do provete, progredindo pelo murete de alvenaria ordinária de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia. Uma vez atingida a membrana de tinta de borracha, (constituída por duas demãos e situada entre a superfície de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia e a camada de reboco na face “B”) verificou-se não só uma resistência hídrica na interface desses materiais, como uma salubre estagnidade alcançada;

- Quanto à aplicabilidade prática desta medida, poderá ser utilizada em edifícios antigos sem carácter patrimonial, nomeadamente em zonas de lazer e serviços, quartos de dormir, salas e cozinhas;

- os resultados obtidos tornam-se assim muito promissores e interessantes.

Quadro 4.6 — Resultados obtidos nas diferentes tipologias ensaiadas no provete em câmara controlada.

	<u>Tipologia 1.b)</u>		<u>Tipologia 2</u>		<u>Tipologia 3</u>		<u>Tipologia 4</u>	
Altura máxima água absorvida	60,0 cm	13 dias	79,5 cm	12 dias	58,5 cm	12 dias	0,0 cm	11 dias
Média obtida	4,62 cm / dia		6,63 cm / dia		4,88 cm / dia		0,0 cm / dia	
Altura média água absorvida	35,8 cm	13 dias	76,0 cm	15 dias	43,3 cm	14 dias	0,0 cm	11 dias
Média obtida	2,75 cm / dia		5,07 cm / dia		3,09 cm / dia		0,0 cm / dia	
Patamar de estabilização da altura máxima	de 30/04 a 07/05	7 dias	de 29/04 a 07/05	8 dias	de 24/06 a 02/07	8 dias	de 16/09 a 27/09	11 dias
Patamar de estabilização da altura média	de 30/04 a 07/05	7 dias	de 02/05 a 07/05	5 dias	de 26/06 a 02/07	6 dias	de 16/09 a 27/09	11 dias

Analisando o quadro 4.6 é de salientar que em todas as tipologias ensaiadas no provete, obtiveram-se patamares de estabilização de resultados, cujas alturas máximas de água absorvida variaram em períodos de cinco a onze dias.

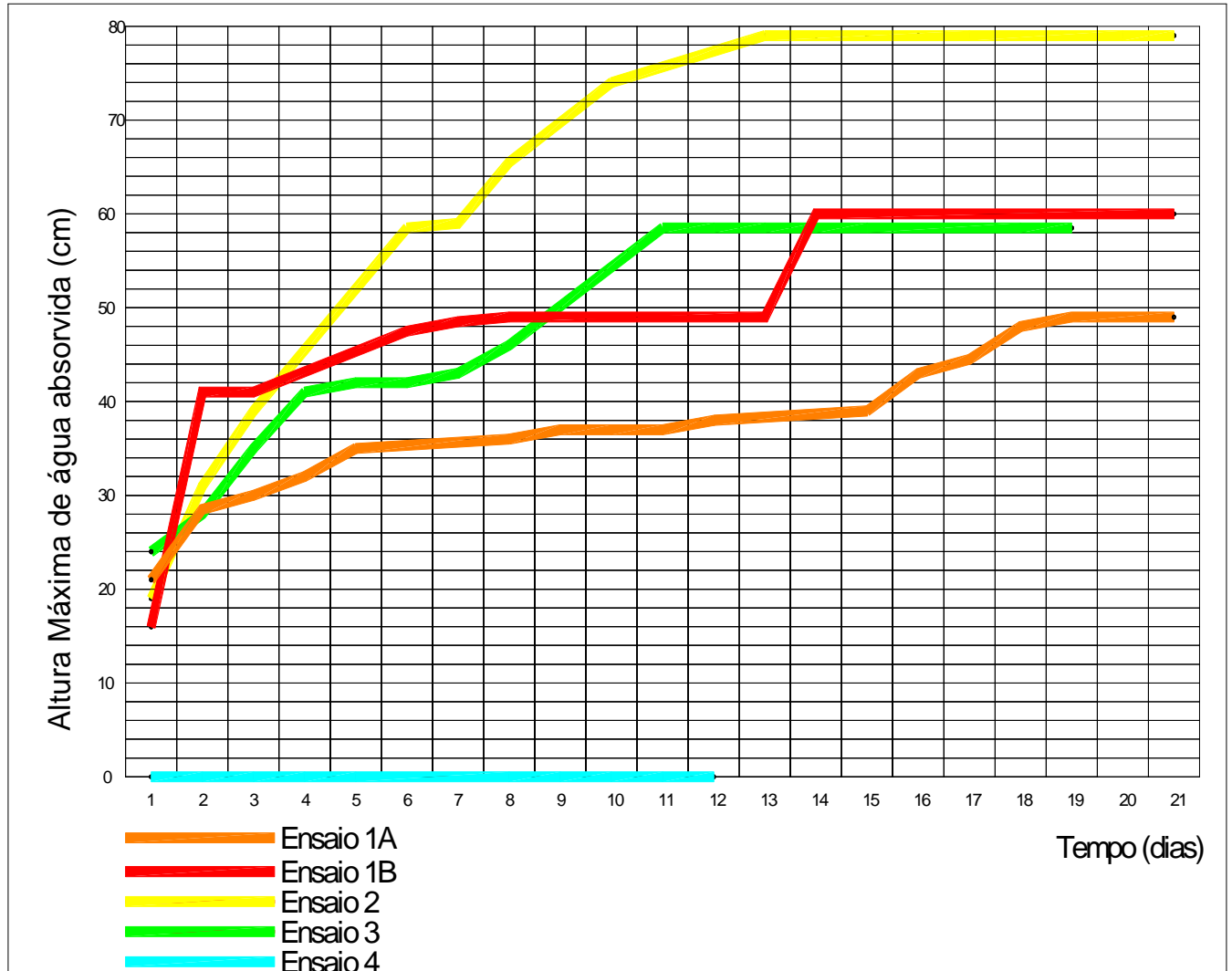


Figura 4.93 — Altura máxima de água absorvida em todas as tipologias ensaiadas no provete em ambiente natural e em câmara controlada

Analisando a figura 4.93 destacam-se os valores da tipologia 2, cuja camada de reboco se estendia desde a base imersa em água na tina até ao topo do provete, ocasionando alturas máximas atingidas pela humidade ascensional, constatando-se que a camada de reboco constituiu um recurso notável à absorção de água por ascensão capilar.

Curiosamente também expresso na figura 4.93, o valor máximo da tipologia 1.b) – cuja face “B” do provete não tem camada de reboco – é escassamente superior (+ 2,5%) ao da tipologia 3 – cuja face “A” do provete tem uma camada de reboco, e com a particularidade de na sua base e ao longo do seu comprimento, ter sido formado um “dente” com 0,15 m de altura.

É importante realçar que os valores do ensaio da tipologia 4 são nulos, pois visualmente não foram detetados quaisquer vestígios de humidades na face “B” do provete, nem tão pouco revelados pelo humidímetro de contacto, ao longo dos onze dias em que a experiência decorreu.

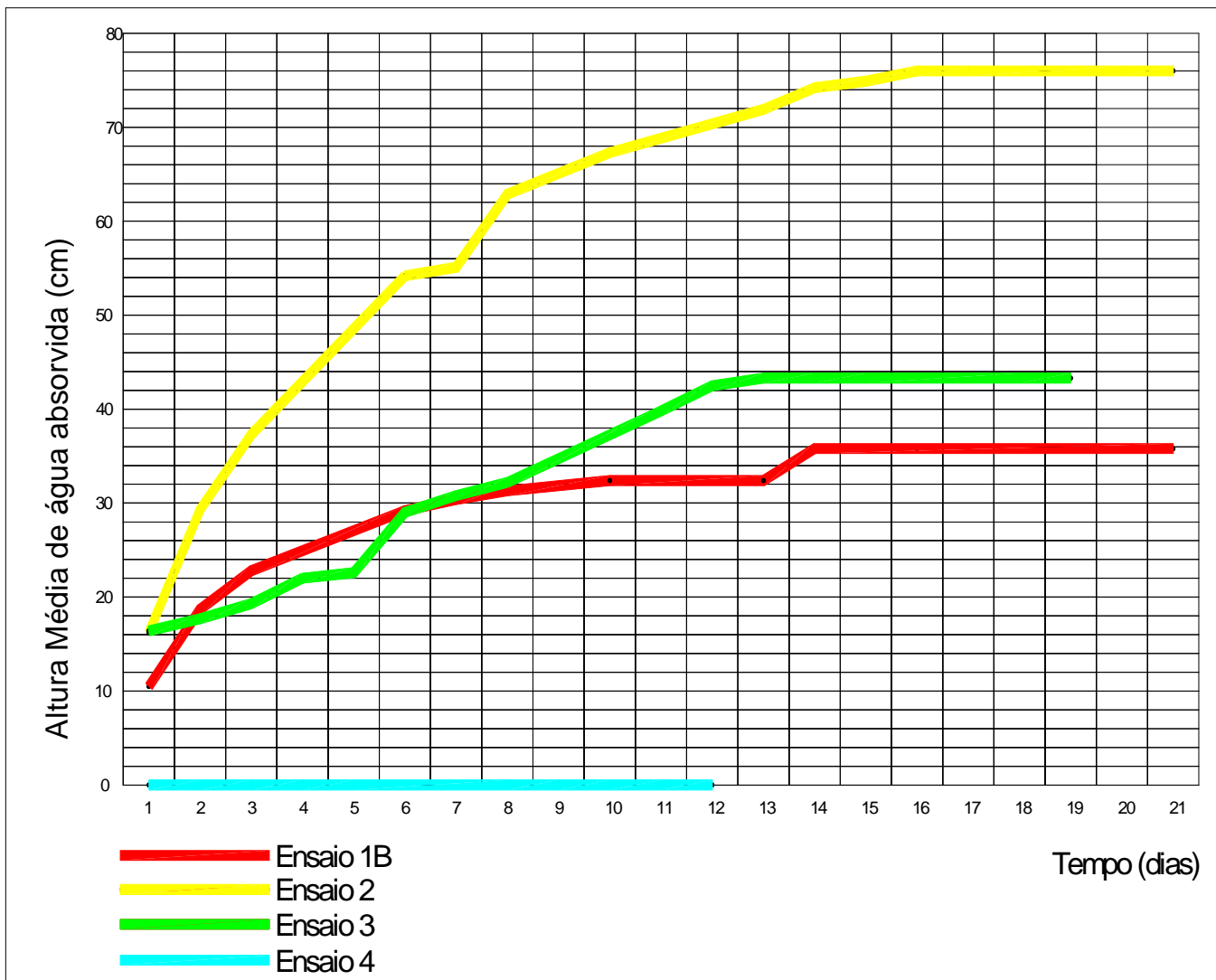


Figura 4.94 — Altura média de água absorvida em todas as tipologias ensaiadas no provete em câmara controlada.

Analisando a figura 4.94 destacam-se também os valores da tipologia 2, cujos registos de alturas médias de água absorvida no provete, contém um distanciamento superior às alturas médias de água absorvida nas outras tipologias ensaiadas. Como possível explicação, para além da característica anteriormente apontada – da camada de reboco ter constituído um veículo notável à absorção de água por ascensão capilar – deve ser salientado que essa mesma camada de reboco tem uma rede capilar de malha aberta e uma estrutura porosa uniforme; criando linhas de fronteira entre as superfícies secas e as superfícies húmidas, bem definidas, regulares e sem grandes amplitudes. (ver por exemplo as figuras 4.34 a 4.39)

Por sua vez os valores da tipologia 3 (com face “A” do provete com camada de reboco e com a particularidade de na sua base e ao longo do seu comprimento, ter sido formado um “dente” com 0,15 m de altura) registaram uma altura média de água absorvida correspondente a 43,3 cm, isto é, 20,9% acima da altura média de água absorvida na tipologia 1.b), correspondente a 35,8 cm.

Por último, os valores das alturas médias de água absorvida na tipologia 4, confirmam-se serem nulos, não apresentando quaisquer vestígios de humidades ao longo dos onze dias em que a experiência decorreu.

Bibliografia do Capítulo

[10] Farinha, J. S. Brazão; Reis, A. Correia – “Tabelas Técnicas”. Edição P.O.B., Setúbal, 1993.

[11] Freitas, Vasco Peixoto; Pinto, Paulo da Silva – “Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção – Condensações Internas”. Nota de Informação Técnica - NIT. 002 do Laboratório de Física das Construções / Secção de Construções Civas / Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP. 2ª. Edição, Porto, Março de 2000.

5 – CONCLUSÕES E PERSPETIVAS DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1 Conclusões

Com o intuito de se promoverem soluções técnicas com custos reduzidos, apresentam-se em seguida orçamentos de cada uma das actividades executadas, com definição dos respectivos artigos.

Para a implementação da tipologia 3, indica-se a seguinte atividade:

- Execução de corte de reboco existente, na base de parede de alvenaria, com 0,15 m de altura e com 0,03 m de espessura média, incluindo limpeza e escovagem da superfície final, bem como remoção a vazadouro dos produtos demolidos – 1,50 €/ml.

Conclui-se que a implementação da actividade associada à tipologia 3 é de custo muito reduzido e razoavelmente favorável ao arejamento e consequente diminuição das alturas das humidades ascensionais.

Para a implementação da tipologia 4, indica-se o conjunto das seguintes atividades:

- Execução de limpeza nos paramentos interiores da parede de alvenaria de pedra, com eliminação de poeiras e/ou gorduras, incluindo preparação das superfícies para posterior aplicação de tinta, bem como a montagem de andaimes se necessário – 1,00 €/m².

- Fornecimento e aplicação de pintura nos paramentos interiores da parede de alvenaria de pedra, com duas demãos de revestimento elástico, tinta de membrana de cor branca, incluindo montagem de andaimes se necessário – 7,50 €/m².

- Fornecimento e aplicação de camada de reboco com 0,03 m de espessura média, constituída por argamassa de cal hidráulica natural (NHL 5) e areia, ao traço 1:3, com acabamento areado fino, em parede de alvenaria de pedra de edifício antigo, incluindo regularização da superfície final, bem como a montagem de andaimes se necessário – 9,50 €/m².

Conclui-se que, a implementação da actividade associada à tipologia 4 é de custo aceitável face aos resultados finais obtidos.

Por último, importa também referir que, foi equacionada a implementação duma outra solução técnica – tipologia 5 – correspondente à execução de diversos furos em quincôncio com espaçamento de 0,25 m e profundidade máxima de 0,15 m, com o objetivo final de promover o arejamento no murete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural (NHL 5) e areia, bem como diminuir as alturas máximas das humidades ascensionais.

No entanto a prática dissuadiu-nos dessa experiência, pois aquando da execução de vários furos no provete, apareceram diversas fissuras no murete pondo em causa a estabilidade do conjunto.

Este trabalho registou uma forte componente laboratorial com base num provete constituído por um murete de alvenaria de pedra ordinária e argamassa de cal hidráulica e areia. Foram realizados cinco ensaios num período de sete meses, o primeiro dos quais “in situ” e os restantes no interior da câmara de cura do Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico.

O estudo experimental permitiu testar e comparar em igualdade de circunstâncias laboratoriais, quatro tipologias no provete, relativamente às humidades ascensionais através do registo da altura (máxima) de água absorvida por capilaridade na face alvo do murete de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica e areia.

É muito importante salientar que as condições existentes na câmara húmida do Laboratório de Construção são, em princípio, mais gravosas do que as condições correntes em edifícios. A humidade relativa situa-se nos 100%, pelo que as condições artificialmente criadas para a evaporação são muito menores, originando em consequência maior ascensão capilar. No entanto apesar da existência de condições extremas na câmara de cura, estas permitem comparar os vários ensaios de diferentes tipologias em iguais circunstâncias.

No geral considera-se que o objetivo prévio foi atingido, com a recolha e apresentação de toda a informação sequencialmente elaborada e explanada. Os resultados finais obtidos, apesar da pouca representatividade estatística, são muito interessantes.

Em síntese as medidas preconizadas nas tipologias 3 e 4 tem custos plausíveis, são fáceis de executar, não carecendo de nenhum tipo de mão-de-obra especializada e com níveis de eficácia pretendidos.

As medidas de combate às humidades ascensionais nos edifícios antigos exigem uma prévia análise e estudo das condições envolventes. A técnica mais bem-sucedida e agora ensaiada poderá ser aplicada numa perspetiva alternativa ou mesmo complementar às barreiras químicas habitualmente empregues no âmbito da reabilitação de edifícios antigos.

As conclusões obtidas sintetizam-se nos seguintes pontos:

- com a simples construção duma camada de reboco em toda a altura da face “A” (tipologia 2), aumenta-se significativamente em 32,5 % a altura máxima de água absorvida, passando-se dos 60,0 cm registados na tipologia 1.b) (sem reboco em nenhuma das faces), para os 79,5 cm registados na tipologia 2 (camada de reboco de alto a baixo na face “A”).

Conclui-se e confirma-se que com a homogeneização e diminuição do tamanho dos poros na camada superficial de reboco no provete, maior é a ascensão capilar. Conclui-se também que a camada de reboco na face “A” do provete constituiu um veículo notável à absorção de água por ascensão capilar;

- com a simples remoção parcial na base do provete da camada de reboco “dente” (evitando-se assim o contacto direto do reboco com a água na tina), reduziu-se significativamente em 26,4 % a altura máxima de água absorvida, passando-se dos 79,5 cm registados na tipologia 2 (camada de reboco

de alto a baixo na face “A”), para os 58,5 cm registados na tipologia 3 (camada de reboco existente também na face “A”, cujo início é 0,15 m acima da base do murete até ao coroamento);

- com a aplicação prévia de duas demãos de tinta de borracha líquida, entre a superfície de alvenaria de pedra e argamassa de cal hidráulica natural e areia e a camada de reboco, não se registou qualquer manifestação de água absorvida por capilaridade na designada face “B” do provete durante o ensaio da tipologia 4 (cuja camada de reboco começa 0,15 m acima da base do murete até ao coroamento), num período total onze dias.

Também nesse ensaio com a utilização de um humidímetro de contacto, concluiu-se não terem sido detetados quaisquer vestígios de humidades, no período decorrido entre 16/09/2013 e 27/09/2013;

- os valores da ascensão capilar obtidos no ensaio da tipologia 4 são nulos, constituindo assim uma solução muito interessante no tratamento das humidades ascensionais em paredes de alvenaria de edifícios antigos.

- as variações da temperatura ambiente (de 12 °C a 18 °C), da humidade relativa do ar e da ventilação ocasionalmente ocorrida (exposição a ventos) sobre o provete – através da tipologia 1.a) em ambiente natural – foram fenómenos consideravelmente influentes nos resultados obtidos, condicionando a ascensão de água por capilaridade, criando condições de evaporação em determinados momentos, bem como à ocorrência dum ponto de equilíbrio entre a quantidade de água absorvida e a quantidade de água evaporada diariamente, concorrendo para a variabilidade dos resultados finais;

- pelas razões indicadas no ponto anterior e desprezando os eventuais fenómenos de higroscopicidade verificados no provete (perante a suposta quantidade de água fixada por adsorção num ambiente saturado), só assim se puderam comparar os resultados das quatro tipologias efetuadas na câmara húmida do Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico;

5.2 Perspetivas de desenvolvimentos futuros

Na continuação do presente trabalho, propõe-se que outras ações de investigação possam ser realizadas, nomeadamente no estudo de novas soluções técnicas que possam minimizar ou eliminar as humidades ascensionais em paredes de alvenaria de pedra e argamassa de cal e areia.

Nesse âmbito, a abordagem da adesividade ao suporte e da durabilidade da membrana de tinta de borracha sujeita a humidades ascensionais permanentes, ou pelo contrário sujeita em ciclo molhagem / secagem, será determinante para o sucesso de implementação do ensaio correspondente à tipologia 4.

Através de pesquisa durante o presente trabalho, foram encontrados relatos de uma técnica eventualmente auspiciosa e relativamente antiga, utilizada espaçadamente por alguns encarregados de construção civil, nomeadamente em paredes de alvenaria de pedra de edifícios antigos, sujeitas a fenómenos de eflorescências ou criptoflorescências.

Essa técnica consiste numa prévia limpeza e escovagem a seco da superfície a tratar, com posterior aplicação duma solução composta por diluente celuloso e EPS – espuma rígida de poliestireno expandido – vulgo esferovite. Esta solução após aplicação na superfície da parede de alvenaria evapora rapidamente pois o diluente é composto por produtos voláteis, formando um filme impermeável (pois cria uma barreira à entrada de água líquida), mas simultaneamente com grande permeabilidade ao vapor de água. Através de ensaio laboratorial, o objetivo de análise passaria pela eficácia e durabilidade da referida técnica.

Também se propõe a avaliação de ensaios com as mesmas tipologias, com ambientes controlados mas com diferentes condições de temperatura e teor de humidade relativa do ar, isto é, em câmara seca.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

Appleton, João – “Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e tecnologias de intervenção”. 1ª. Edição. Edições Orion, Amadora, Setembro de 2003.

Brito, Jorge de - “Humidade Ascendente em Paredes Têrreas de Edifícios”. Lisboa, Instituto Superior Técnico – IST, 2003.

Carmeliet, J. – “Water Transport-Liquid and Vapour in Porous Materials: Understanding Physical Mechanisms and Effects from Hydrophobic Treatments”. HYDROPHOBE III, Third International Conference on Surface Technology with Water Repellent Agents. Ed. by Littmarn, K. and Charola, AE, Aedificatio Publishers, 2001, pp. 171 – 178.

Charola, A. E. – “Water-Repellent Treatments for Building Stones: A Practical Overview”. APT Bulletin, 24 [2-3], 1995, pp. 10 – 17.

Charola, A. E. – “Water Repellents and Other “Protective” Treatments: A critical Review”. HYDROPHOBE III, Third International Conference on Surface Technology with Water Repellent Agents. Ed. by Littmarn, K. and Charola, AE, Aedificatio Publishers, 2001, pp. 3 – 19.

Cóias, Vítor – “Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos: Alvenaria”. 2.ª Edição. Lisboa, Argumentum, 2007.

Costa, F. Pereira da – “Obras de Alvenaria”. Enciclopédia Prática da Construção Civil. Portugalíia Editora, Lisboa.

Freitas, Vasco Peixoto de; Torres, Maria Isabel - “Treatment of rising damp in historical buildings: wall base ventilation”. Building and Environment 42, Janeiro de 2007, pp. 425-435.

Freitas, Vasco Peixoto de; Torres, Maria Isabel – “The influence of thikness of the walls and their properties on the treatment of rising damp in historic buildings”. Construction and Building Materials 24, 2010, pp. 1331-1339.

Guimarães, Ana Sofia Moreira dos Santos; Delgado, J. M.; Freitas, Vasco Peixoto de – “Mathematical analysis of the evaporative process of a new technological treatment of rising damp in historic buildings”. Building and Environment 45, Maio de 2010, pp. 2414-2420.

Guimarães, Ana Sofia Moreira dos Santos; Freitas, Vasco Peixoto de – “Characterization of a hygro-regulated Wall Base Ventilation System for Treatment of Rising Damp in Historical Buildings”. 2011.

Guimarães, Ana Sofia Moreira dos Santos – “Dimensionamento de Sistemas de Ventilação da Base das Paredes para Tratamento da Humidade Ascensional”. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, Agosto de 2011.

Henriques, Fernando Manuel Anjos – “A Qualidade na Conservação do Património Histórico Edificado”. Revista Bimestral Engenharia & Arquitectura, Ano 4, nº. 22. Agosto / Setembro de 1990.

Henriques, Fernando Manuel Anjos – “A Conservação do Património Histórico Edificado”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1991.

Henriques, Fernando Manuel Anjos – “Humidade em Paredes”. Edifícios / Série Conservação e Reabilitação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1994.

Henriques, Fernando Manuel Anjos – “A conservação em Portugal: balanço e perspectivas”. Revista Semestral de Edifícios e Monumentos. Adaptação da intervenção “Exigências fundamentais a satisfazer em edifícios de valor histórico”, apresentada no ciclo de conferências – Intervenções em Edifícios Antigos – no auditório da DGEMN. Lisboa. Setembro de 1999.

Henriques, Fernando Manuel Anjos – “Formas de Manifestação da Humidade em Paredes”, Comunicação inserida nas 6ª.s Jornadas de Construções Cívicas – “Humidade na Construção”. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, 1998.

Henriques, Fernando Manuel Anjos – “A Conservação do Património e as Tecnologias Modernas”. Revista Engenharia e Vida. Novembro de 2004.

Madeira, Pedro Teles de Brito Mendes – “Humidades ascensionais em paredes – Estudo de uma solução de impermeabilização”. Tese de Mestrado. Lisboa, Instituto Superior Técnico – IST, Outubro de 2012.

Mayer, H. and Roth, M. – Silicon Microemulsion Concentrates, Wacker SMK – “A New Way of Obtaining Aqueous Masonry Water Repellents Based on Organo-silicon Compounds”. Munich, January 1995.

Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações – “Caracterização de Revestimentos de Paredes para Edifícios Antigos / Plano de Investigação”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Abril de 1991.

Nero, J. M. Gaspar; Appleton, Júlio A.; Gomes, Abdias M. – “As argamassas tradicionais no parque edificado de Lisboa: uma colaboração para o seu conhecimento. 2º Encontro Sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1994.

Pontes, J. Pereira; Manso, A. Costa – “Anomalias mais Frequentes em Edifícios Antigos em Lisboa”. 2º Encontro Sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1994.

Rodrigues, J. Delgado; Charola, A.E.: “General Report on Water Repellents”. Science and Technology for Cultural Heritage, 5 [1], 1996, pp. 93-103.

Sá, Abel Francisco Gaspar Soeiro – “Rebocos em Paredes de Pedra e Cal”. Tese de Mestrado. Lisboa, Instituto Superior Técnico – IST, Agosto de 2005.

Santos, S. Pompeu – “A Reabilitação Estrutural do Património Construído – Aspectos Básicos”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2003.

Schamberg, E. – “Protection of external walls by water-repellent treatments”. Goldschmidt Informiert, Building Protection 1/1986, Nº. 64. Germany.

Segurado, J. E. dos Santos – “Alvenaria e Cantaria”. Biblioteca de Instrução Profissional. Livraria Bertrand, Lisboa, 1908.

Torres, Maria Isabel – “Humidade Ascensional em Paredes”. Tese de Mestrado. Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra – FCTUC, 1998.

Torres, Maria Isabel – “Humidade Ascensional em Paredes de Construções Históricas”. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra – FCTUC, 2004.

Veiga, Maria do Rosário; Carvalho, Fernanda – “Argamassas de reboco para edifícios antigos: requisitos e características a respeitar”, publicado nos Cadernos Edifícios, n.º 02 cujos coordenadores da edição foram Veiga, Maria do Rosário e Aguiar, José – "Revestimentos de paredes em edifícios antigos" – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Outubro de 2002.

Veiga, Maria do Rosário; Carvalho, Fernanda – “Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes”. Actas do 3º ENCORE, Encontro sobre Construção e Reabilitação de Edifícios. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Maio de 2003.

Young, David – “Salt attack and rising damp – A Guide to salt damp in historic and older buildings”. Heritage Council of NSW, Heritage Victoria, South Australian Department for Environment and Heritage, Adelaide City Council , Australia, 2008.

