



Ana Luísa Garcia Pires

Licenciada em Ciências da Engenharia Civil

**Avaliação do comportamento
higroscópico de argamassas de
reboco**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia
Civil – Perfil de Construção

Orientadora: Paulina Faria, Professora Associada, Faculdade de
Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Professor Doutor Daniel Aelenei

Arguente: Professor Doutor Fernando M. A. Henriques

Vogal: Professora Doutora Paulina Faria

“Copyright” Ana Luísa Garcia Pires, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Após a finalização desta dissertação não podia deixar de expressar o meu agradecimento a todos os que me ajudaram, acompanharam e de qualquer outra forma fizeram parte desta importante etapa:

Em especial à Professora Doutora Paulina Faria, orientadora deste trabalho, agradeço pelo aconselhamento do tema, pela disponibilidade e apoio constantes desde o primeiro dia e pelos conhecimentos transmitidos.

Ao engenheiro Vítor Silva agradeço pelo auxílio incansável nas actividades laboratoriais, por todos os ensinamentos, sugestões e pela simpatia e amizade demonstradas.

Agradeço à organização do Curso de Rebocos de Terra da FCT-UNL pela disponibilização de argamassas de terra essenciais para esta dissertação.

À Professora Doutora Paulina Faria, aos Mestres Idália Gomes, Inês Dias, Naila Jamú, Teresa Fontes e João Grilo e aos alunos de mestrado Pedro Santos e Tiago Madeira agradeço pela disponibilização dos provetes, sem os quais a campanha experimental deste trabalho não teria sido possível. A estes agradeço também a disponibilização dos resultados obtidos e os constantes esclarecimentos sobre os seus trabalhos.

Aos colegas Lara Neves, Pedro Santos, João Valério, Tiago Madeira, Duarte Gomes, Raquel Frutuoso e Soraia Machado, que pelas suas campanhas experimentais utilizavam também os laboratórios, agradeço a companhia durante os longos dias de ensaios.

Ao meu padrinho, Eurico Martins, agradeço pela revisão do texto e pelas sugestões e opiniões em relação ao trabalho.

A todos os meus amigos, dentro e fora da faculdade, agradeço por me apoiarem, ajudarem e estarem presentes em todos os momentos, tanto de estudo e trabalho como de diversão e convívio.

Ao Bruno Ribeiro agradeço o companheirismo, carinho, amizade e ainda o constante apoio e motivação que me ajudaram a atingir os meus objectivos.

Por fim, agradeço à minha família, que sempre me apoiou e sem a qual esta etapa não teria sido possível.

RESUMO

As variações de humidade relativa (HR) afectam a salubridade e as características higrotérmicas dos ambientes interiores e, conseqüentemente, a saúde e o conforto dos ocupantes.

Os materiais de construção utilizados nos paramentos interiores podem ter um contributo activo na regulação da HR dos ambientes interiores desde que possuam características higroscópicas, ou seja, que tenham a capacidade de adsorver e desadsorver vapor de água.

Neste trabalho estudou-se o comportamento de várias argamassas que podem ser utilizadas em sistemas de reboco, desde argamassas de terra a argamassas de ligantes aéreos e hidráulicos, de forma a analisar a influência dos diferentes tipos de constituintes no seu comportamento higroscópico. Conhecendo-se as propriedades higroscópicas que muitos sais apresentam analisaram-se também argamassas contaminadas com sulfatos para apurar a influência que estes têm. Para além disso analisaram-se provetes de argamassas com uma camada de acabamento ou aplicadas sobre suporte de tijolo, de forma a fazer uma primeira abordagem acerca da influência dos acabamentos e suportes no comportamento higroscópico dos conjuntos, comparativamente apenas a uma análise independente de cada material.

Durante a campanha experimental os provetes das diferentes argamassas foram sujeitos a ciclos de variação de HR; cada ciclo é composto por 8 horas a 75% HR seguidas de 16 horas a 33% HR. Estes ciclos pretendem simular as alterações verificadas dentro de uma divisão de uma habitação de um país do Norte da Europa, por exemplo um quarto que durante a noite está ocupado e com aquecimento e durante o dia está vazio. Este procedimento permite a classificação das argamassas segundo uma escala que traduz a sua capacidade de regulação da HR dos ambientes.

Verifica-se que, de uma forma geral, as argamassas que utilizam terra como ligante apresentam resultados superiores, incluindo-se sempre nas classes de higroscopicidade elevada quanto à capacidade de regulação da HR interior. O traço das argamassas revelou-se também decisivo no *moisture buffer value* (MBV) das argamassas, sendo que as argamassas com menor quantidade de agregado obtiveram sistematicamente resultados mais elevados. Em adição foi também possível verificar que o tipo de cura, agregados e ligantes utilizados afecta o MBV obtido.

Confirma-se que a análise de soluções de sistema, constituídas por argamassas associadas a suportes, conduz a resultados distintos daqueles que se obtêm quando se analisam os materiais individualmente, o que incentiva o estudo futuro de soluções deste tipo por serem as que mais se aproximam da realidade.

Termos Chave: Higroscopicidade; *Moisture Buffer Value*; Argamassa; Reboco; Terra; Ligante Mineral.

ABSTRACT

Variations of the relative humidity (RH) affect the healthiness and the thermal characteristics of interior environments and, therefore, the health and comfort of the occupants.

Building materials, which are used in the interior surface of walls, can actively contribute to the regulation of the RH of the interior environments, as long as these materials have hygroscopic characteristics that allow them the capacity of adsorption and desorption of water vapor.

Different mortars that can be used in plastering systems have been studied in this dissertation; these mortars include a wide range of binders including hydrated air and hydraulic limes, cement and earth so that the influence of these different materials on the hygroscopic behavior could be analyzed. Knowing the hygroscopic properties that many salts present, an analysis of mortars contaminated with sulphates was also done to determinate the influence that they might have.

During the experimental campaign the test specimens of different mortars were subjected to RH variation cycles; in each cycle there are two phases, with 8 hours at 75% RH followed by 16 hours at 33% RH. These cycles intend to simulate RH variations that occur inside a chamber of a residence of a Northern Europe country, like a room that is occupied during the night and with heating turned on, and that is empty during the day. This test protocol allows a classification of the mortars on a scale that reflects their ability to regulate the environments RH.

It can be remarked that mortars with earth used as binder are generally the ones that show better results, and are classified at least as good in terms of their ability to regulate the interior RH. The binder:aggregate ratio has also proved to be decisive in mortar's *moisture buffer value* (MBV), once the mortars with less aggregate systematically obtained better results. In addition, it was also possible to verify that the type or cure, aggregates and binders used affect the MBV obtained.

It is confirmed that the analysis of system solutions, consisting of mortars attached to a substrate, leads to different results from those obtained when analyzing the materials individually, which encourages the future study of these solutions due to their similarity with reality.

Keywords: Hygroscopicity; *Moisture Buffer Value*; Mortar; Plastering; Earth; Mineral binder.

ÍNDICE DE TEXTO

ÍNDICE DE TEXTO	V
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objectivos e metodologia.....	1
1.3. Estrutura	2
2. ESTADO DO CONHECIMENTO	3
2.1. Conceitos de base sobre a humidade, materiais porosos e os mecanismos de adsorção de água.....	3
2.2. A influência da humidade relativa no ambiente interior.....	4
2.3. Higroscopicidade.....	6
2.4. Argamassas: aplicações e exigências funcionais	13
2.5. Matérias-primas das argamassas	15
2.5.1. Cimento Portland artificial	15
2.5.2. Cal hidráulica natural	15
2.5.3. Cal aérea	15
2.5.4. Terra argilosa.....	16
2.5.5. Pozolanas	16
2.5.5.1. Metacaulino.....	17
2.5.5.2. Resíduos cerâmicos.....	17
2.5.6. Fibras naturais e cortiça.....	17
2.5.7. Agregados.....	18
2.6. Características de argamassas.....	19
2.6.1. Argamassas de cal aérea, terra e cal aérea e terra	19
2.6.2. Argamassas com adição de fibras	21
2.6.3. Argamassas de cal hidráulica natural com eventual adição de pozolanas	22
2.6.4. Argamassas de cimento e bastardas.....	23
3. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL	25
3.1. Grupos de argamassas.....	25
3.2. Matérias-primas	27

Em seguida apresentam-se detalhadamente as matérias-primas das argamassas de cada um dos grupos.....	27
3.2.1. Matérias-primas das argamassas do Grupo 1	27
3.2.2. Matérias-primas das argamassas do Grupo 2	28
3.2.3. Matérias-primas das argamassas dos Grupos 3, 4 e 5.....	28
3.2.4. Matérias-primas das argamassas do Grupo 6	29
3.2.5. Matérias-primas das argamassas do Grupo 7	30
3.3. Condições de cura	30
3.4. Argamassas e provetes ensaiados	31
3.4.1. Procedimento específico.....	37
3.4.2 Equipamento utilizado.....	40
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	41
4.1. Resultados das argamassas do Grupo 1	41
4.2. Resultados das argamassas do Grupo 2	54
4.3. Resultados das argamassas do Grupo 3	58
4.4. Resultados das argamassas do Grupo 4	64
4.5. Resultados das argamassas do Grupo 5	68
4.6. Resultados das argamassas do Grupo 6	71
4.7. Resultados das argamassas do Grupo 7	77
5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	81
5.1. Comparação de comportamentos das argamassas e sistemas analisados.....	81
5.2. Comparação com estudos semelhantes	84
5.3. Análise global de resultados	84
6. CONCLUSÕES.....	89
6.1. Considerações finais.....	89
6.2. Desenvolvimentos futuros	92
BIBLIOGRAFIA	93
ANEXOS	i
A1 – Divulgação de resultados.....	i

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Etapas da fixação de água por adsorção, no domínio higroscópico [RAMOS 2007].	4
Figura 2.2 – Diagrama Psicrométrico [HENRIQUES,2011].	6
Figura 2.3 – Mecanismo de formação de eflorescências (1) e criptoflorescências (2) [HENRIQUES 2007]	7
Figura 2.4 - Ciclos de absorção e libertação de humidade (entre 33%HR e 75%HR) [RODE et al. 2005].	10
Figura 2.5 – Ciclos estáveis, captação de humidade e aumento de massa ao longo dos ciclos [RODE et al. 2005].	10
Figura 2.6 – Estrutura celular de coritça após ser fervida: a) secção radial; b) secção tangencial. [SILVA 2005].	18
Figura 3.1 – Moldes de PVC usados para as argamassas do grupo 1.	32
Figura 3.2 – Provetes da argamassa TB_1:2S2_10CL_L após a desmoldagem.	32
Figura 3.3 – Provetes da argamassa TB_1:1Cortiça_L antes da desmoldagem.	32
Figura 3.4 –Provetes de argamassa do grupo 1.	32
Figura 3.5 – Provetes de argamassa do grupo 2.	32
Figura 3.6 –Provetes de argamassa do grupo 3.	32
Figura 3.7 – Provetes de argamassa do grupo 4.	32
Figura 3.8 – Provetes de argamassa do grupo 5.	32
Figura 3.9 – Provetes de argamassa do grupo 6.	40
Figura 3.10 – Câmara climática Fitoclima 300 EDTU.	40
Figura 3.11 – Balança analítica.	40
Figura 4.1 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas TA_1:3S1_L, TB_1:3S1_L, TB_1:2S2_L, TB_1:3S2_L, TB_1:4S2_L e TB_1:1Cortiça_L com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.	43
Figura 4.2 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas TB_1:2S2_5NHL_L, TC_1:2S2_L, TC_1:3S2_L, TE_1:3S1_L, TE_1:2S2_L e TE_1:3S2_L com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.	44
Figura 4.3 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas TE_1:2S2+TE_1:1,5sf_L, TE_1:3S2+TE_1:2sf_L, PreDos_L, TB_1:1S1/S2_20FT_L, TB_1:3S1/S2_20FT_L e TB_1:3S1/S2_40FT_L com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.	45
Figura 4.4 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas TB_40FT_L, TB_60FT_L, TB_80FT_L, TB_100FT_L, TC_1:1S1/S2_20FT_L e TC_1:3S1/S2_40FT_L com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.	46
Figura 4.5 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas TC_40FT_L, TC_60FT_L, TC_80FT_L, TC_100FT_L e TC_120FT_L com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.	47
Figura 4.6 - Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas sem fibras do Grupo 1.	48

Figura 4.7 - Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas com elementos vegetais (fibras e cortiça) do Grupo 1.	49
Figura 4.8 - Valores de MBV para as argamassas PreDos_L e de terra TA e TB do Grupo 1.....	50
Figura 4.9 - Valores de MBV para as argamassas de terra TC e TE do Grupo 1.	51
Figura 4.10 - Valores de MBV para as argamassas de traço 1:3 e areia S1 do Grupo 1.....	52
Figura 4.11 - Valores de MBV para as argamassas de terra, areia e fibras do Grupo 1.	53
Figura 4.12 - Valores de MBV para as argamassas de terra e fibras do Grupo 1.....	53
Figura 4.13 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas TP_1:3S3_HD, TP_1:3S3+5F_HD, TP_1:3S3_5CL_HD, TP_1:3S3_10CL_HD, TP_1:3S3_15CL_HD e TP_1:3S3_5CL+5F_HD com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.	55
Figura 4.14 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas TP_1:3S3_10CL+5F_HD, TAV_HD, TPD_1:1,5S3_HD e TVC_1:3S3_HD com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.	56
Figura 4.15 - Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas do Grupo 2.	56
Figura 4.16 – Valores de MBV para as argamassas do Grupo 2.	58
Figura 4.17 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas CL_1:3S4_A, CL_1:3 S4_5TP_A, CL_1:3S4_10TP_A, CL_1:3S4_15TP_A, CL_1:3S4_25TP_A e CL_1:2S4_A com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.	59
Figura 4.18 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas CL_1:2S4_5TP_A, CL_1:2S4_10TP_A, CL_1:2S4_25TP_A, CL_1:2S4_50TP_A, CL_1:2S4_25TP_9,2FA_A e CL_1:3S4_10TP_10,4FA_A com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.	60
Figura 4.19 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas CL_1:2S4_25TP_5FC_A, CL_1:2S4_25TP_3,5FO_A, CL_1:2S4_25TP_1, CL_1:3S4_10TP_3,9FO_A e CL_1:3S4_10TP_2FO_A com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.	61
Figura 4.20 – Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas sem fibras do Grupo 3.....	62
Figura 4.21 – Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas com fibras do Grupo 3.....	62
Figura 4.22 - Valores de MBV para as argamassas sem adição de fibras do Grupo 3.	63
Figura 4.23 - Valores de MBV para as argamassas com adição de fibras do Grupo 3.	64
Figura 4.24 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas CL_1:3S4_A_sulfatos, CL_1:3S4_10TP_A_sulfatos, CL_1:3S4_25TP_A_sulfatos, CL_1:2S4_A_sulfatos, CL_1:2S4_25TP_A_sulfatos e CL_1:2S4_50TP_A_sulfatos com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.	65
Figura 4.25 - Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas do Grupo 4.	67
Figura 4.26 - Valores de MBV para as argamassas do Grupo 4.	68
Figura 4.27 - Variação média do teor de água de um tijolo e de uma camada das argamassas CL_1:3S4_A_tijolo, CL_1:3S4_10TP_A_tijolo, CL_1:2S4_A_tijolo e CL_1:2S4_25TP_A_tijo sobre tijolos com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.	69

Figura 4.28 - Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas do Grupo 5.....	70
Figura 4.29 - Valores de MBV para as argamassas do Grupo 5.....	71
Figura 4.30 - Variação média do teor de água das argamassas NHL_1:3S4_St, NHL_1:3S4_H, NHL_1:3S4_5R1_A, NHL_1:3S4_10R1_A, NHL_1:3S4_5R1+5Mk_A e NHL_1:3S4_5R1+10Mk_A com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.....	72
Figura 4.31 - Variação média do teor de água das argamassas NHL_1:3S4_10R1+10Mk_A, NHL_1:4S4_A, NHL_1:4S4_10R1_A, NHL_1:4S4_10R2_A, NHL_1:4S4_25R1_A e NHL_1:4S4_25R2_A com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.....	73
Figura 4.32 - Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas de traço 1:3 do Grupo 6.....	74
Figura 4.33 - Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas de traço 1:4 do Grupo 6.....	74
Figura 4.34 - Valores de MBV para as argamassas de traço 1:3 do Grupo 6.....	75
Figura 4.35 - Valores de MBV para as argamassas de traço 1:4 do Grupo 6.....	76
Figura 4.36 - Variação média do teor de água das argamassas C_1:4S5_D, C+CL_1:1:6S5_D, C+CL_1:3:12S5_D e CL_1:2S5_D com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.	77
Figura 4.37 - Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas do Grupo 7.....	78
Figura 4.38 - Valores de MBV para as argamassas de traço 1:4 e 1:3 do grupo 7.....	78
Figura 5.1 – Comparação dos valores de MBV entre as argamassas dos grupos 3 e 4.....	81
Figura 5.2 – Comparação dos valores de MBV entre as argamassas dos grupos 3 e 5.....	82
Figura 5.3 – Comparação dos valores de MBV para argamassas de diferentes ligantes.	83
Figura 5.4 – Temperaturas máximas e mínimas mensais e HR média às 9 e 18 horas para várias cidades de Portugal.....	90

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Classificação de materiais consoante o seu MBV (adaptado de [RODE et al.2005]).....	11
Quadro 2.2 – Dados e resultados do ensaio NORDTEST (adaptado de [RODE et al. 2005])	12
Quadro 2.3 - Exigencias funcionais e características de argamassas consoante a função desejada (com base em [HENRIQUES & FARIA 2006]).	14
Quadro 3.1 – Composição química da cal aérea dos Grupos 1, 2, 3 e 4 [GAMEIRO et al. 2013].....	27
Quadro 3.2 – Composição mineralogia da terra-padrão, do Grupo 2, obtida por difracção de raios x [GOMES 2012b].....	28
Quadro 3.3 – Baridades das três areias e da mistura do Grupo 2, 3 e 4 [MASSENA 2011].	28
Quadro 3.4 – Composição química da cal hidráulica natural NHL3.5 do Grupo 3 [GRILO et al. 2013].....	29
Quadro 3.5 – Composição química do Metacaulino do Grupo 3 [GAMEIRO et al. 2013].	29
Quadro 3.6 – Composição química da cal aérea do grupo 7 [FARIA 2004].	30
Quadro 3.7 – Composição química do cimento do grupo 7 (valores médios resultantes de autocontrolo durante 1 ano, adaptado de [FARIA 2004]).	30
Quadro 3.8 – Descrição dos constituintes, data de amassadura e tipo de provetes das argamassas ensaiadas.	32
Quadro 4.1 - Dimensões, massas e área de exposição dos provetes do Grupo 1.....	42
Quadro 4.2 – Dimensões, massas e área de exposição dos provetes do Grupo 2.....	54
Quadro 4.3 - Dimensões, massas e área de exposição dos provetes do Grupo 3.....	58
Quadro 4.4 - Dimensões, massas e área de exposição dos provetes do Grupo 4.....	64
Quadro 4.5 – Comparação das massas no equilíbrio dos provetes do grupo 4 em que foi necessário repetir o ensaio.....	66
Quadro 4.6 - Dimensões, massas e área de exposição dos provetes do Grupo 5.....	68
Quadro 4.7 - Dimensões, massas e área de exposição dos provetes do Grupo 6.....	71
Quadro 4.8 - Dimensões, massas e área de exposição dos provetes do Grupo 7.....	77

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A humidade relativa dos espaços interiores assume um papel de relevância na saúde e conforto higrotérmico dos utilizadores, na qualidade e salubridade do ar, no desempenho energético e na patologia dos edifícios [RAMOS 2007, LIMA 2013].

Os materiais que possuem características higroscópicas podem contribuir activamente para a regulação da humidade interior, através da adsorção e libertação de humidade, consoante a humidade relativa (HR) ambiente interior se encontre, respectivamente, em valores mais elevados ou mais baixos [LIMA 2013].

Torna-se importante analisar as diferentes soluções construtivas de revestimento que é possível utilizar nos paramentos interiores das paredes. Esta análise pode ser feita: ao nível do material/produto da construção de base, nomeadamente através de cada argamassa de reboco individualmente; ao nível do sistema, estudando as combinações de materiais existentes, por exemplo um sistema de reboco completo ou associado ao tipo de acabamento, ou ainda associado ao tipo de suporte; ao nível do compartimento que tem em consideração, para além dos materiais/produtos utilizados nos paramentos interiores, todas as mobílias ou elementos presentes e a taxa de ventilação e condições interiores.

A campanha experimental deste trabalho foca-se na análise ao nível do material/produto da construção (argamassa) mas inclui alguns exemplos de análise ao nível do sistema, nomeadamente de sistemas de camadas duplas de argamassa e de argamassas aplicadas sobre suporte de tijolo furado. Incide assim sobre diversas argamassas de reboco, constituídas por ligantes que vão desde os actualmente mais comuns no revestimento de edifícios correntes (ligantes hidráulicos) até às técnicas mais tradicionais que utilizam ligantes aéreos ou mesmo a terra argilosa. Com efeito, a maior parte das argamassas incluídas neste estudo, inserido nos projetos QREN nº 2011/021586 - Parede Ecoestrutural e EXPL/ECM-COM/0928/2012 - Incorporação de resíduos de cerâmica em argamassas de reabilitação, contém terra ou adições de materiais com argila, visto que a argila é um material com comportamento fortemente higroscópico e que poderá contribuir positivamente para a classificação das argamassas quanto à sua capacidade de amortecimento da HR.

Num contexto de sustentabilidade, com a crescente preocupação pela utilização sustentável dos recursos, o conhecimento da influência de cada tipo de argamassa para a regulação da HR interior permitirá adequar as soluções construtivas, através de materiais sustentáveis tais como a terra, de forma a não comprometer as necessidades das gerações futuras [MARÍN 2010, LIMA 2013].

1.2. Objectivos e metodologia

O objectivo principal desta dissertação é o estudo do comportamento higroscópico de várias argamassas, ou seja, determinar a sua (menor ou maior) capacidade de adsorção/desadsorção de vapor de água, de forma a avaliar a influência que podem ter na regulação da HR dos ambientes interiores.

Para esse fim adoptou-se o protocolo de teste NORDTEST [RODE et al. 2005] que estipula que os materiais analisados devem ser submetidos a ciclos de HR compostos por 8 horas a 75%HR, seguidos de 16 horas a 33%HR. Este protocolo de teste inclui uma escala para classificação dos materiais, consoante a sua capacidade de amortecimento de HR dos ambientes interiores, para ambientes com condições de temperatura e humidade relativa semelhantes àqueles que o protocolo propõe.

Os materiais analisados foram argamassas que podem ser aplicadas em sistemas de reboco; a escolha destas argamassas pretendeu abranger um conjunto de ligantes, agregados e adições comumente utilizados, mas particularmente também alguns materiais mais tradicionais. Analisou-se a influência de vários aglutinantes e ligantes (terra, cal aérea, cal hidráulica natural, e cimento), de alguns agregados (areias), de algumas adições (resíduos cerâmicos, metacaulino e fibras). Procurou analisar-se também a influência de algumas argamassas que se encontravam contaminadas com sulfatos.

De forma a complementar o estudo, analisaram-se provetes compostos por uma camada de argamassa com uma fina camada de acabamento (argamassa com agregado de granulometria mais fina) ou de argamassa aplicada sobre um suporte padrão (no caso constituído por tijolo furado). Estes provetes permitem uma análise ao nível do sistema, complementar da análise individual de cada argamassa.

1.3. Estrutura

A presente dissertação está dividida em seis capítulos. O presente capítulo intitula-se introdução e inclui o enquadramento do tema, os objectivos do trabalho e a estrutura do texto da dissertação.

No capítulo 2 apresenta-se o estado do conhecimento actual. Neste capítulo incluem-se conceitos de base sobre a humidade, materiais porosos e mecanismos de adsorção de água, dados sobre a influência da HR nos ambientes interiores, alguns protocolos de ensaio existentes para a análise da higroscopicidade de materiais de construção e ainda aspectos sobre as argamassas e todos os materiais constituintes considerados pertinentes para o estudo.

No capítulo 3 descrevem-se todos os passos efectuados durante a campanha experimental, incluindo o protocolo de teste adoptado, a caracterização e descrição de todas as argamassas e dos seus constituintes, e os tipos de curas a que os provetes foram sujeitos.

No capítulo 4 existem subcapítulos para cada grupo de argamassas, consoante os seus constituintes base; em cada um desses subcapítulos são apresentados e detalhadamente analisados os resultados obtidos na campanha experimental.

No capítulo 5 efectuou-se um cruzamento dos resultados apresentados no capítulo anterior com o objectivo de comparar os resultados entre os grupos previamente estabelecidos e também com outros estudos previamente realizados.

Por último, no capítulo 6, apresentam-se as conclusões deste trabalho e sugestões para desenvolvimentos futuros, que poderão vir a complementar o tema desta dissertação.

Nos anexos apresentam-se publicações de resultados do presente trabalho.

2. ESTADO DO CONHECIMENTO

2.1. Conceitos de base sobre a humidade, materiais porosos e os mecanismos de adsorção de água

O ar húmido é composto por uma mistura de ar seco e vapor de água; existe um equilíbrio entre estas duas fases e, conseqüentemente, um limite para a quantidade de água que o ar pode conter. Este limite é designado por limite de saturação ou, em termos de pressão, como pressão de saturação. A humidade relativa do ar define-se como a relação entre a quantidade de vapor de água que efectivamente existe numa determinada massa de ar a uma temperatura, pela quantidade máxima de vapor de água que essa massa pode ter [CORREIA 2013; HENRIQUES 2007; RAMOS 2007].

Os materiais de construção são geralmente porosos, o que implica que possuem três fases: uma sólida (a estrutura do material), uma líquida (água livre e adsorvida contida nos poros) e uma gasosa (ar incluído nos poros). Através da quantidade de água que um material possui define-se o seu teor de humidade. O teor de humidade dos materiais varia entre zero e um valor máximo, o teor de humidade crítico, que ocorre quando um material se encontra em contacto com um ambiente saturado durante um longo período. Estes dois valores definem o domínio higroscópico, que em termos de humidade relativa ocorre para valores entre 0% e 95%. Se o material for posto em contacto com água na fase líquida pode ser fixada uma maior quantidade de água, sendo neste caso o limite o teor de humidade máximo, que dificilmente é atingido devido ao ar que fica retido nos poros. Então interessa definir-se o teor de humidade de saturação capilar, que tem em conta este acontecimento, e define a quantidade máxima de humidade que um material contém após contacto com água líquida [CORREIA 2013; RAMOS 2007].

Quando se está dentro do domínio higroscópico os mecanismos de fixação do vapor de água devem-se às forças intermoleculares que actuam na interface sólido-líquido no interior dos poros e que podem ser divididos em três etapas (Fig.2.1). Numa primeira etapa, denominada adsorção molecular ou mono-camada, ocorre a fixação de uma fina camada de moléculas de água sobre a superfície dos poros. Esta etapa ocorre para valores de humidade relativa entre 0% e aproximadamente 12%. A segunda etapa, de adsorção plurimolecular ou multi-camada, ocorre para valores de HR até aos 50%, e é caracterizada pela sobreposição de múltiplas camadas de moléculas de água. Neste caso as forças em acção são também intermoleculares mas actuam na interface líquido-líquido. Na última etapa, denominada de condensação capilar, ocorre a formação de meniscos devido à união das multicamadas de paredes opostas [CORREIA 2013; RAMOS 2007].

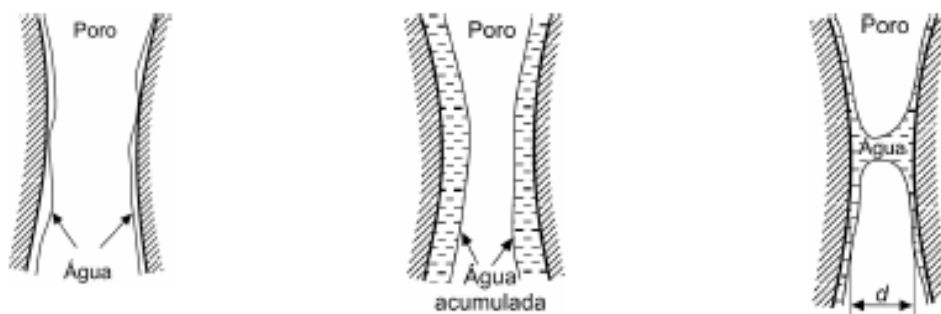


Figura 2.1 - Etapas da fixação de água por adsorção, no domínio higroscópico [RAMOS 2007].

2.2. A influência da humidade relativa no ambiente interior

O ambiente e qualidade do ar interior afectam a actividade dos utilizadores dos edifícios, visto que contribuem para o conforto, a saúde e a produtividade dos seres humanos [RAMOS 2007].

A sensação de conforto térmico está relacionada com o balanço térmico do corpo humano, que é afectado pela actividade física, vestuário, temperatura ambiente, temperatura radiante das superfícies, velocidade e humidade relativa do ar, mas também pela resposta psicológica de cada um às condições existentes [ISO 2005; HENRIQUES 2011]. Segundo o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei nº 80/2006 [DR 2006] (que recentemente foi substituído pelo Decreto-Lei n.º 118/2013 que integra o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS)) as condições de conforto de referência são: temperatura de 20°C durante a estação de aquecimento (Outubro a Maio) e temperatura de 25°C e HR de 50% para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto, Setembro).

Num regime simplificado, admitindo velocidade do ar interior reduzida e temperatura constante, pode-se considerar que a sensação de temperatura percebida depende da temperatura e da humidade relativa do ar actuais. A humidade relativa afecta a percepção de temperatura: o ar mais húmido apresenta maior condutibilidade térmica e dificulta a evaporação; então a diminuição de humidade relativa de um ambiente, ou seja ar mais seco, permite o aumento de temperatura sem que a sensação de conforto seja alterada [LIMA 2013].

A humidade relativa pode também afectar a salubridade dos ambientes interiores e, conseqüentemente, a saúde dos utilizadores. Segundo a Organização Mundial de Saúde, a permanência em ambientes demasiado húmidos aumenta o risco de contrair doenças do foro respiratório e alergias, e o desenvolvimento de fungos e ácaros está relacionado com a alta humidade interior [LIMA 2013].

Borheag et al. (2001) analisaram a influência da humidade relativa na saúde dos ocupantes e chegaram à conclusão que a permanência em ambientes com elevada humidade ambiente aumenta o risco de problemas de saúde, principalmente a nível do sistema respiratório, mas também pode provocar outros sintomas, tais como cansaço e dores de cabeça. Em contrapartida, a permanência em ambientes demasiado secos é também prejudicial para a saúde, provocando a excessiva secagem da mucosa das vias respiratórias superiores, facilitando infecções e doenças respiratórias [LIMA 2013].

A humidade relativa elevada contribui ainda para a deterioração dos materiais de construção. O desenvolvimento de fungos é uma patologia comum nos edifícios; estes desenvolvem-se em elementos construtivos particularmente quando a HR se encontra entre os 70% e 100%. Os próprios sistemas de ventilação, aquecimento e ar condicionado, são também afectados pela HR e conseqüentemente o desempenho energético dos edifícios [ABADIE & MENDONÇA 2009; RAMOS 2007].

Todas as actividades humanas são acompanhadas de libertação de vapor de água. Em média e a uma temperatura de 20°C, um adulto liberta entre 45 g/h e 110 g/h de vapor de água, consoante o tipo de actividade. Os sistemas de aquecimento a gás, do tipo não ligado a condutas de exaustão, libertam uma quantidade de vapor de água na ordem dos 300 g/h e, para além disso, também as actividades domésticas comuns (lavagens, duchas, elaboração de comida) produzem uma quantidade significativa de vapor de água [HENRIQUES 2011].

Considerando o exemplo seguinte, é fácil perceber que a simples permanência dos seres humanos em ambientes interiores afecta largamente a humidade relativa ambiente:

- Um quarto com 30 m³ (3m x 4m x 2,5m) e com duas pessoas a dormir.
- Cada pessoa, a dormir, produz, em média, 30 g/h de vapor de água. Com duas pessoas dentro da divisão a produção de vapor de água será de 60 g/h.
- Considerando um período de sono de 8 horas tem-se um aumento total de 480 g de vapor de água.
- Se as condições iniciais forem de 20°C e 30% humidade relativa (HR), consultando o diagrama psicométrico (figura 2.1), observa-se que se está perante uma humidade absoluta de aproximadamente 5,2 x10⁻³ kg /m³
- Considerando que a temperatura se mantém constante, e somando o acréscimo de vapor de água:

$$\frac{480 \text{ g}}{30 \text{ m}^3} = 16 \text{ g} / \text{m}^3 = 16 \times 10^{-3} \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$(5,2 + 16) \times 10^{-3} \text{ kg} / \text{m}^3 = 21,2 \times 10^{-3} \text{ kg} / \text{m}^3$$

Tem-se então uma humidade absoluta de 21,2 x10⁻³ kg /m³. Caso não exista ventilação esta humidade ultrapassa o limite de saturação, de cerca de 17 x10⁻³ kg /m³ à temperatura de 20°C, pelo que se estaria perante uma HR de 100% e ocorrência de condensações superficiais.

- Considerando a existência de ventilação, com uma taxa de renovação horária de 0,5, e condições exteriores primaveris (20°C e 65% HR), ao fim de uma hora metade do ar interior seria substituído por ar proveniente do exterior, com humidade absoluta de 11 x10⁻³ kg /m³, e a humidade absoluta do quarto ao fim de 8 horas seria:

$$\frac{21,2 + 11}{2} \times 10^{-3} \text{ kg} / \text{m}^3 = 16,1 \times 10^{-3} \text{ kg} / \text{m}^3$$

Este valor corresponde a uma HR de 95% a 20°C.

Este exemplo é, no entanto, bastante simplificado. O facto de estarem duas pessoas dentro da divisão iria também causar um aumento de temperatura devido à libertação de calor pelos corpos. Este aumento de temperatura provocaria uma diminuição da humidade relativa. Por exemplo, se a

temperatura aumentasse para 25°C durante as 8 horas de sono, em vez de uma HR de 95% estar-se-ia perante uma HR de 70%, o que continua a ser um valor elevado de HR.

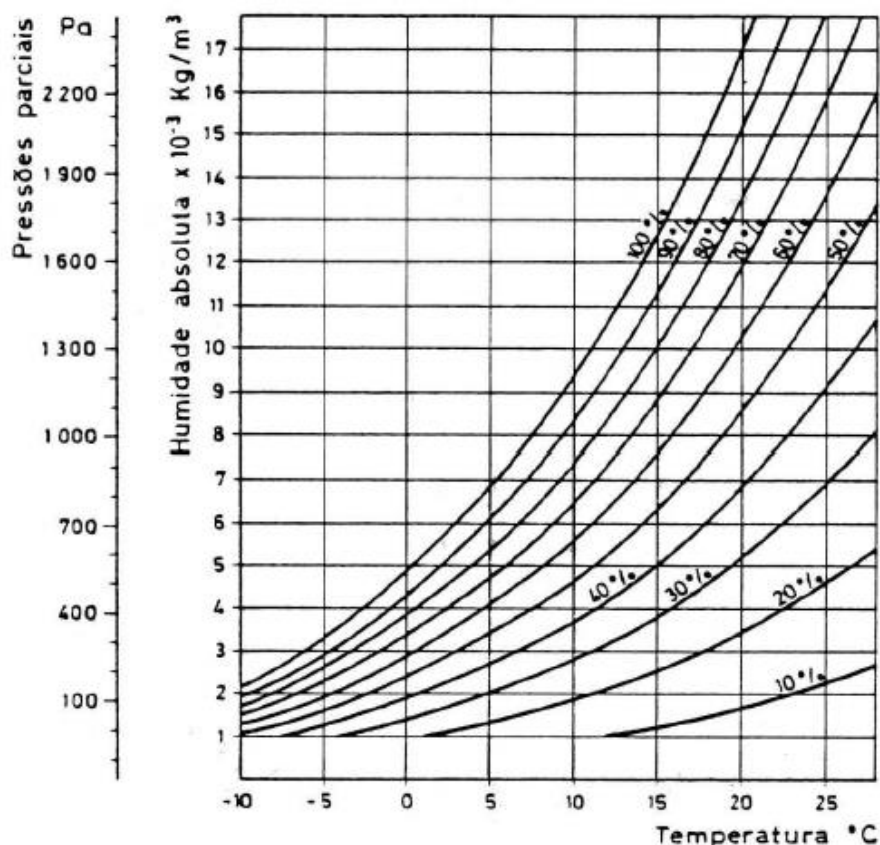


Figura 2.2 – Diagrama Psicrométrico [HENRIQUES,2011].

2.3. Higroscopicidade

A higroscopicidade define a capacidade dos materiais de adsorver e desadsorver vapor de água quando colocados num ambiente em que as condições variam em relação ao equilíbrio. O comportamento higroscópico dos materiais é muitas vezes caracterizado pela ocorrência de histerese, ou seja, pela não coincidência das curvas obtidas na adsorção e desadsorção. Neste fenómeno a curva de desadsorção ocupa uma posição superior à de adsorção. Apesar de não existir uma teoria que explique este fenómeno na totalidade, existem algumas hipóteses. Uma das hipóteses menciona a diferença dos ângulos de contacto da água com os poros na fase de condensação capilar, consoante o avanço ou recuo do menisco; o ângulo de contacto é menor na fase de desadsorção, o que causa maior dificuldade na desadsorção do vapor de água nesta fase. Outra teoria resulta das diferentes dimensões dos poros, isto é, na fase de adsorção o maior poro define a velocidade do processo; no entanto, em fase de desadsorção é o poro de menor raio que vai definir a duração da etapa, pelo que esta se torna mais lenta [LIMA 2013; RAMOS 2007].

Determinados minerais de argila possuem uma elevada higroscopicidade; então, argamassas que possuam estes minerais, quando utilizadas em paramentos interiores, podem contribuir para a regularização da humidade relativa do ambiente [LIMA 2013].

Os principais minerais argilosos são a ilite, a caulinite e a esmectite. A ilite é um mineral composto por lamelas pequenas, mal definidas, em conjuntos irregulares que por vezes possuem contorno hexagonal. Este mineral é pouco expansível na presença de água, moderadamente electronegativo e possui uma superfície específica externa intermédia. A caulinite tem uma estrutura laminar de duas camadas, é pouco expansível, tem superfície específica pequena e é pouco electronegativa. Por último, a esmectite é um mineral de elevada superfície específica, tanto interna como externa, com elevada expansibilidade e excesso de cargas negativas [GOMES 1988; LIMA 2013; SAMPAIO 2006].

O que confere a capacidade de adsorção de água aos minerais de argila é a grande superfície específica, resultante da dimensão muito reduzida e da forma lamelar ou fibrosa das partículas destes minerais, e a carga eléctrica globalmente negativa, que é compensada pela introdução de moléculas de água. Desta forma é fácil concluir que, entre estes três tipos de argilas, é a esmectite que possui maior capacidade de retenção de água, seguida da ilite e por último da caulinite, que possui a menor capacidade [GOMES 1988; SAMPAIO 2006].

Inúmeros materiais de construção contêm sais solúveis; em condições correntes estes sais não provocam efeitos graves. No entanto, se os materiais onde os sais existem forem humedecidos acima do seu limite de solubilidade, os sais dissolvem-se e migram juntamente com a água. Quando a migração atinge a superfície dos materiais e a água se evapora, os sais cristalizam. O processo de cristalização dos sais pode dar-se sob a forma de eflorescências ou criptoflorescências (Fig.2.3), consoante a deposição dos sais ocorre à superfície dos materiais ou sobre revestimentos, ou em camadas mais interiores ou entre camadas. Nesse caso é acompanhado de aumento de volume, associado ao desenvolvimento de tensões; particularmente após vários ciclos que pode levar à ocorrência de anomalias, tais como o destacamento dos revestimentos [HENRIQUES 2007], muitas vezes mostrando então degradação avançada no seu tardo, já no próprio suporte.

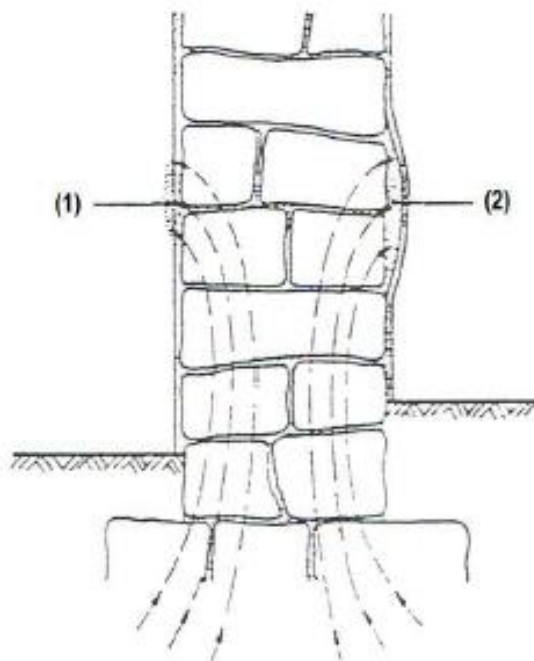


Figura 2.3 – Mecanismo de formação de eflorescências (1) e criptoflorescências (2) [HENRIQUES 2007]

A maioria dos sais existentes nos materiais são higroscópicos, ou seja, possuem a capacidade de absorver e libertar a humidade do ar consoante as condições presentes; para cada sal, a uma determinada temperatura, existe então uma humidade de equilíbrio, que se situa por volta dos 65-75%. Quando a HR ambiente se encontra acima desse valor dá-se um processo de absorção de água e o sal dissolve-se; se a HR ambiente for inferior à humidade de equilíbrio, a água evapora-se e o sal volta a cristalizar. Estes ciclos sucessivos de cristalização-dissolução, para além de provocarem efeitos destrutivos nos materiais, poderão afectar a sua higroscopicidade. Os sais solúveis comumente associados à ocorrência de anomalias em edifícios são os sulfatos, carbonatos, cloretos, nitritos e nitratos [GONÇALVES & DELGADO-RODRIGUES 2006; HENRIQUES 2007].

O estudo da capacidade de adsorção e evaporação de vapor de água de uma argamassa pode ser efectuado de várias formas. Em seguida apresentam-se dois estudos que adoptaram metodologias distintas.

Correia (2013) avaliou a higroscopicidade de materiais correntes através da elaboração de curvas de armazenamento de humidade (isotermas) segundo a norma EN ISO 12571:2000 [CEN 2000]; entretanto esta norma foi substituída por uma nova versão EN ISO 12571:2013 [CEN 2013] que, no entanto, não apresenta alterações relevantes para o trabalho em questão. Estas curvas, isotermas, definem o armazenamento de humidade em diferentes situações isotérmicas. É definida uma isoterma de adsorção e uma isoterma de desadsorção. A isoterma de adsorção é medida exclusivamente durante o processo de adsorção higroscópica, definido pela fixação de moléculas de água do ambiente às superfícies do material. A isoterma de desadsorção é medida no processo oposto, processo de desadsorção higroscópica, definido pela libertação das moléculas de água para o ambiente [ASTM 2004; CORREIA 2013].

Segundo a norma ASTM C 1498-04 [ASTM 2004] os provetes, no mínimo de cinco, devem ter pelo menos 10 gramas de massa e devem ser seguidas as etapas seguintes para a elaboração do ensaio [CORREIA 2013]:

1. Os provetes deverão ser colocados numa estufa à temperatura de 75°C durante 24 horas, no mínimo, e em seguida serão colocados num exsiccador com sílica em gel, para permitir um arrefecimento gradual dos provetes sem aumento do teor de água. Os provetes deverão então ser pesados diariamente até que três pesagens sucessivas apresentem uma diferença menor que 0,1%. Este último valor será a massa seca do material, m_s .
2. Em seguida os provetes serão colocados numa câmara climática a 23°C e sujeitos a seis níveis de humidade relativa por ordem crescente: 40%, 60%, 70%, 80%, 90%, 95%.
3. Para cada nível de humidade relativa serão feitas pesagens, com o intervalo de 24 horas, até que se obtenha massa constante, ou seja, a diferença de três pesagens consecutivas inferior a 0,1%. Este valor é considerado constituir a massa húmida, m_h , para cada patamar de humidade relativa.

4. Por último é calculado o teor de água em equilíbrio, para cada valor de humidade relativa, através da seguinte equação:

$$H = 100 \times \frac{m_h - m_s}{m_s}$$

em que:

- m_s – massa seca;
 - m_h – massa húmida;
5. Após a determinação da massa húmida para o patamar mais elevado de humidade relativa inicia-se o processo de desadsorção. São repetidos os passos 2, 3 e 4 mas agora com valores de humidade relativa decrescentes: 95%, 90%, 80%, 70%, 60%, 40%.

No seu estudo Correia (2013) observou que:

- Se verifica o efeito histerético entre os processos de adsorção e desadsorção, mas existem diferenças para os vários tipos de materiais analisados.
- O traço volumétrico das argamassas desempenhou um papel importante no comportamento higroscópico das argamassas.
- Em argamassas de cimento quanto maior a quantidade deste ligante, maior o teor de água em equilíbrio durante o processo de desadsorção e, conseqüentemente, maior o efeito histerético.

Rode et al. (2005) efectuaram o estudo da capacidade de amortecimento da humidade relativa dos materiais através da definição do parâmetro *Moisture Buffer Value* (MBV), que é descrito como a capacidade dos materiais de uma sala atenuarem as variações de humidade relativa. Segundo os autores este fenómeno é descrito com base em três níveis:

- Nível da sala: o MBV é afectado por toda a sala em análise e até pelas mobílias e outros elementos presentes. As áreas de superfície dos materiais expostas ao ambiente, a humidade presente, a taxa de ventilação e o ambiente interior afectam este parâmetro.
- Nível de sistema: inclui as combinações de materiais presentes; aqui o valor de MBV depende da velocidade do ar, da área e da espessura da amostra.
- Nível do material: neste nível são analisadas as propriedades dos materiais individualmente.

O valor prático do MBV representa a quantidade de água que é transportada para dentro ou fora do material por área de superfície, durante um período de tempo definido, quando o ar envolvente é submetido a variações de humidade relativa. Este parâmetro é expresso em $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \% \text{HR})$.

Para a determinação prática do MBV os provetes são expostos a ciclos de variação de humidade relativa por etapas, que variam de alta humidade relativa, durante 8 horas, para baixa humidade relativa, durante 16 horas. Um ciclo típico seria composto por uma primeira etapa, com duração de 8 horas a 75% HR, e uma segunda etapa, durante 16 horas e com 33% HR. Durante os ciclos são registadas as massas dos provetes e é construído um gráfico de humidade relativa e massa em função do tempo (Fig.2.4). Este gráfico tem que possuir, pelo menos, três ciclos estáveis. Um ciclo estável é caracterizado por uma amplitude de massa com variação inferior a 5% de dia para dia, e pela aproximação da adsorção e libertação diária de humidade relativa.

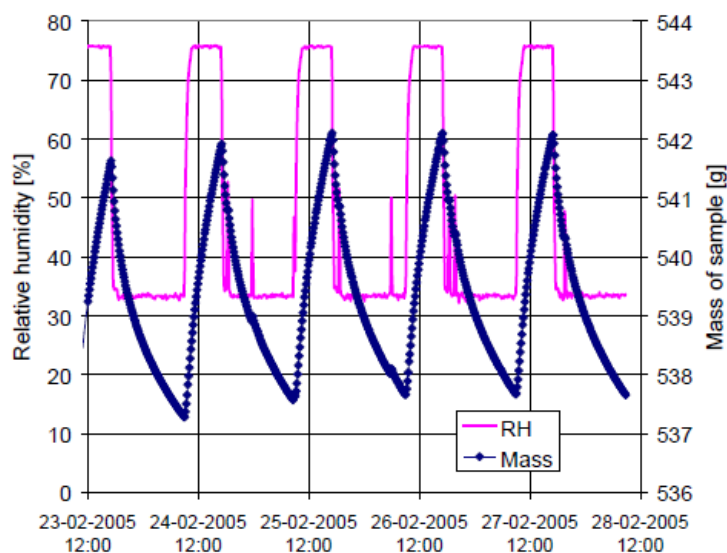


Figura 2.4 - Ciclos de absorção e libertação de humidade (entre 33%HR e 75%HR) [RODE et al. 2005].

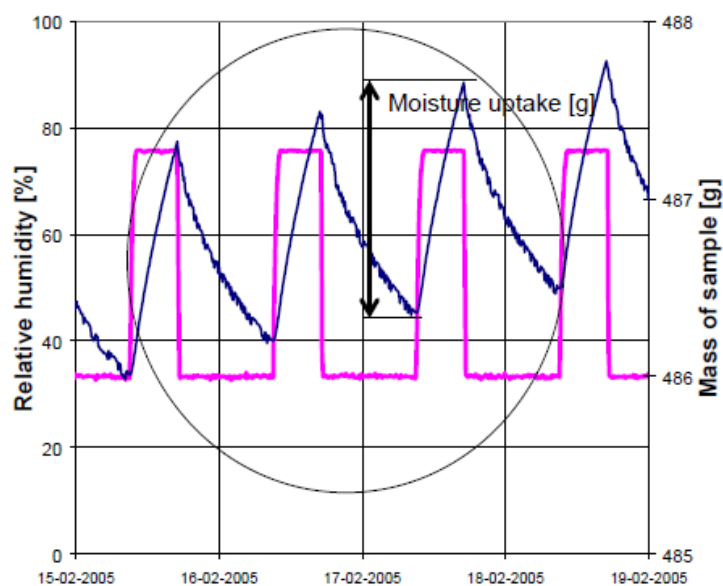


Figura 2.5 – Ciclos estáveis, captação de humidade e aumento de massa ao longo dos ciclos [RODE et al. 2005].

Na figura 2.5 pode observar-se que existe uma tendência de aumento da massa com os ciclos que, segundo o investigador, é devida ao facto de as condições iniciais serem inferiores à média das condições que se criam após alguns ciclos. Observa-se ainda a definição de captação de humidade (Moisture uptake), que consiste na quantidade de humidade que o provete capta em cada ciclo.

O procedimento deste ensaio é o seguinte:

- Os provetes, parcialmente selados, são expostos a repetidas etapas de alteração de humidade relativa ambiente com temperatura constante, a 23°C.

- Com a alteração de humidade relativa a massa do provete vai sofrer alterações que devem ser registadas frequentemente.

- O MBV é representado pela alteração da massa durante um determinado período de tempo.
- Deve usar-se uma câmara climática que permita manter e registar a temperatura e alterar a humidade relativa, ou manter o ambiente nas condições definidas com auxílio de soluções saturadas de sais. Será necessária uma balança com precisão de 1%.
- O ar na câmara climática deve circular com velocidade de $0,10 \pm 0,05$ m/s.
- Recomenda-se o uso de provetes rectangulares, no mínimo de 3 unidades, com largura mínima de 100mm e área exposta de pelo menos $0,01\text{m}^2$.
- Em provetes cúbicos, ou em forma de paralelepípedo, cinco das seis faces devem ser seladas com folha de alumínio ou outro material que não absorva humidade e adira à superfície do provete.
- Antes do início do teste os provetes devem estar armazenados a condições de $23 \pm 5^\circ\text{C}$ e $50 \pm 5\%$ HR até que atinjam o equilíbrio (duas pesagens diárias sucessivas com diferença inferior a 0,1%).
- Durante o ensaio as condições são as seguintes: temperatura 23°C , baixa HR 33%, alta HR 75%.
- A alta HR será mantida por 8 horas e a baixa HR por 16 horas.
- Os ciclos de baixa e alta HR devem ser mantidos até que se atinja uma diferença de massa inferior a 5% entre os últimos três ciclos.
- Em cada ciclo a variação de massa é determinada pela média do ganho de massa, durante a absorção, e da perda de massa, durante a secagem.
- Os resultados do ensaio são expressos em termos da variação de massa por m^2 e por variação de HR.

$$MBV = \frac{\Delta m}{A \times \Delta HR}$$

Em que:

- Δm – Variação de massa (média de: $m_{8\text{hrs}} - m_0$ e $m_{24\text{hrs}} - m_{8\text{hrs}}$)
- A – área de exposição do provete
- ΔHR - Variação de HR (75%-33%)

Rode et al. (2005) definem uma classificação, em termos da capacidade de amortecimento da humidade relativa dos materiais, consoante o seu valor de MBV, que é expressa na Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Classificação de materiais consoante o seu MBV (adaptado de [RODE et al.2005])

MBV [g/(m².%RH)]	Classificação
0 a 0,2	Desprezível
0,2 a 0,5	Limitado
0,5 a 1,0	Moderado
1,0 a 2,0	Bom
> 2,0	Excelente

Interessa salientar que a classificação dos materiais proposta neste protocolo (quadro 2.1) se adequa a situações em que os materiais são expostos a humidade e temperatura semelhantes àquelas definidas pelo ensaio. Isto quer dizer que, quando as condições de temperatura e humidade do interior das habitações são diferentes das propostas neste ensaio, a classificação pode não se adaptar, ou até

funcionar de forma oposta. Por exemplo, em ambientes com humidade relativa alta ao longo de todo o ano, rebocos com alta higroscopicidade podem ser propícios ao desenvolvimento de fungos, podendo a capacidade higroscópica, nesses casos, eventualmente revelar-se prejudicial.

Rode et al. (2005) analisaram os resultados de vários ensaios, independentes e de diferentes laboratórios, para os mesmos materiais (quadro 2.2) de forma a fundamentar e verificar o seu protocolo de ensaio. Apesar de alguns desvios, no geral, a classificação dos materiais obtida pelos vários laboratórios foi a mesma. No quadro 2.2 apresentam-se os resultados obtidos neste estudo.

Quadro 2.2 – Dados e resultados do ensaio NORDTEST (adaptado de [RODE et al. 2005])

Material	Laboratório	Dimensões superficiais [mm]	Área de exposição [m ²]	Espessura [mm]	MBV [g/(m ² .%RH)]	
					Média	Desvio padrão
Placas de abeto	DTU	250 x 34	0,087	14	1,22	0,04
	NBI	222x293, 226x298, 223x295	0,066	14	1,12	0,09
	VTT	250 x 250	0,063	15	1,15	0,05
Placa com base em cimento	DTU	350 x 100	0,035	25	0,42	0,11
	NBI	60 x 100	0,006	27	0,35	0,18
	LTH	173 x 100	0,016	26	0,37	0,04
Placa de gesso cartonado	NBI	200 x 200	0,04	13	0,69	0,13
	LTH	201 x 202	0,038	12,5	0,57	0,01
	VTT	250 x 250	0,063	13	0,65	0,02
Madeira laminada com verniz	DTU	250 x 250	0,063	15	0,46	0,07
	NBI	199 x 250, 198 x 251, 197 x 250	0,050	15	0,39	0,06
	VTT	250 x 250	0,063	65	0,54	0,05
Bloco com base em cimento de baixa massa	DTU	200 x 200	0,040	42	0,74	0,08
	NBI	101x101, 100x101, 100x101	0,010	26	0,81	0,10
	LTH	200 x 201	0,035	42	0,72	0,08
Betão celular	DTU	298 x 198	0,059	74	1,05	0,07
	LTH	147 x 148	0,020	75	0,96	0,06
	VTT	198x302, 201x298, 198 x 295	0,060	74	1,11	0,04
Tijolo	DTU	56 x 228	0,013	110	0,39	0,06
	LTH	56 x 229	0,011	109	0,35	0,02
	VTT	56 x 226	0,013	110	0,69	0,11

DTU - Technical University of Denmark; VTT - Technical Research Centre of Finland;

LTH - Lund University, Sweden; NBI - The Norwegian Building Research Institute

Este protocolo de ensaio foi utilizado nos estudos de McGregor et al. (2012) em blocos de terra simples ou com cimento ou cal como agentes estabilizadores, e obtiveram-se resultados na ordem do excelente e bom.

Cerolini et al. (2009) utilizaram também este protocolo para analisar a capacidade de atenuar as alterações de humidade de materiais altamente adsorventes (Sodium polyacrylate - polímero super adsorvente actualmente usado na indústria médica, de cosmética e da higiene íntima; Cellulose-based material - uma combinação de celulose e de polímeros super-adsorventes também usada no campo da

higiene pessoal). Estes materiais obtiveram classificação na classe excelente, mas os autores observaram que o Sodium polyacrylate apresenta um comportamento histerético que poderá, após algum tempo, comprometer a capacidade de adsorção.

Não se tem conhecimento de estudos em que este método tenha sido utilizado em argamassas.

2.4. Argamassas: aplicações e exigências funcionais

As argamassas têm diversas aplicações. Em construção nova são utilizadas no assentamento de alvenarias, em rebocos interiores e exteriores, em camadas de enchimento, de regularização ou de revestimento de coberturas e pavimentos. Na conservação e reabilitação de edifícios as argamassas surgem essencialmente na reparação das anomalias em elementos estruturais ou em revestimentos. Neste caso são utilizadas maioritariamente na reparação de alvenarias através do refechamento de juntas que apresentem comportamento ineficiente e na reparação ou substituição de rebocos [FARIA 2004; FARIA 2012b].

Cada tipo de aplicação de argamassas deve responder a diferentes requisitos. As especificações generalizadas para a avaliação do desempenho definidas para as argamassas modernas não serão necessariamente idênticas àquelas necessárias para as argamassas destinadas à conservação e reabilitação de edifícios antigos. Particularmente quando se considera a utilização de argamassas em edifícios antigos é essencial garantir a compatibilização física, química e mecânica com os materiais dos suportes [FARIA 2004; HENRIQUES & FARIA 2008].

De uma forma simplificada podem-se agrupar os tipos de argamassas nos seguintes grupos, função da sua aplicação, e atribuir-lhes os principais requisitos [HENRIQUES & FARIA 2008; HENRIQUES & FARIA 2006]:

- Argamassas para rebocos exteriores de paredes:

Para além de aspectos estéticos, a principal preocupação de rebocos de paredes reside na protecção contra a acção da água exterior e a capacidade para libertar a que aceda ao interior da parede; portanto os principais requisitos são a baixa absorção de água (por exemplo da chuva e por ascensão capilar) e elevada permeabilidade ao vapor de água ou capacidade de secagem (para a libertação, na forma de vapor, da que aceda à parede). Quanto à resistência mecânica, as argamassas devem ter valores não superiores aos das alvenarias sobre as quais são aplicadas e devem ter deformabilidade comparável para garantir a compatibilidade com a parede e adequada aderência ao suporte; devem ainda garantir que o teor em sais solúveis libertados seja baixo. Estas características são necessárias para garantir a protecção da parede pelo reboco. No propósito de aumentar a durabilidade das próprias argamassas será importante, por outro lado, avaliar a resistência da argamassa ao ataque de sais, estudar a resistência a ciclos de gelo/degelo, a capacidade secagem de água, as resistências mecânicas e o tempo de presa [HENRIQUES & FARIA 2006]. Obviamente aspectos relacionados com controlo de fendilhação superficial são também importantes.

- Argamassas para rebocos interiores:

Também para além de aspectos estéticos e de segurança no uso, neste caso a principal preocupação está na protecção contra acções mecânicas usuais, sendo necessário garantir boa dureza superficial [HENRIQUES & FARIA 2006]. Mas em adição deve considerar-se interesse em argamassas

e sistemas completos de rebocos interiores que não libertem produtos tóxicos e que tenham capacidade de contribuir para a regulação da humidade relativa interior e, dessa forma, contribuir para o conforto e saúde dos ocupantes.

- Argamassas de refechamento de juntas:

É fundamental garantir protecção contra a água e estabilidade estrutural, o que implica uma baixa absorção de água mas principalmente elevada permeabilidade ao vapor de água e reduzida susceptibilidade à retracção. Para além destas características é também necessário garantir boa aderência ao suporte, face ao qual as argamassas devem apresentar características semelhantes, boa resistência aos sais solúveis e boa resistência a ciclos de gelo/degelo [HENRIQUES & FARIA 2006].

- Argamassas para reparação da espessura de paredes:

Finalmente, nas argamassas destinadas a reparar a espessura perdida em paredes, por exemplo, para reparar construções de taipa, é também essencial garantir a compatibilidade dos materiais. As características físicas, químicas e mecânicas das argamassas de reparação devem ser semelhantes às originais mas, acima de tudo, devem conferir protecção aos materiais originais restantes. A durabilidade da argamassa passa para segundo plano; torna-se mais importante garantir que a autenticidade dos materiais e processos construtivos seja preservada [GOMES et al. 2012a; GOMES et al. 2012b]. De um modo geral, mantêm-se a maior parte das características relativas a rebocos interiores e exteriores, consoante o caso, com excepção de aspectos relacionados com fendilhação superficial, no caso de estas argamassas virem a ser revestidas por sistemas de reboco.

De uma forma geral podemos resumir as diferentes características e exigências funcionais no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 - Exigencias funcionais e características de argamassas consoante a função desejada (com base em [HENRIQUES & FARIA 2006]).

Função	Exigências funcionais e características
Geral	Permeabilidade ao vapor de água Absorção capilar Teor em sais solúveis Retracção na secagem
Desempenho estrutural	Resistência à compressão Módulo de elasticidade Variações dimensionais por efeito térmico
Refechamento de juntas	Módulo de elasticidade dinâmico Resistência à compressão Expansão hídrica Expansão térmica Coeficiente de capilaridade Factor de resistência à difusão do vapor de água Tensão de aderência
Edifícios históricos	Absorção e evaporação de água Resistência mecânica e aderência Resistência aos sais solúveis Libertação de sais solúveis Resistência à acção do gelo Estabilidade dimensional

2.5. Matérias-primas das argamassas

As argamassas são constituídas por agregado(s), ligante(s), água e podem ser complementadas por adições e/ou adjuvantes.

Nos subcapítulos seguintes apresentam-se aspectos relativos ao estado do conhecimento dos tipos de matérias-primas das argamassas que vão ser estudadas neste trabalho, na seguinte ordem: primeiro os ligantes, dos mais fortes para os mais fracos, seguidos das pozolanas, fibras e por último os agregados.

2.5.1.Cimento Portland artificial

“O cimento Portland artificial é obtido a partir de uma mistura devidamente proporcionada de calcário (carbonato de cálcio), argila (silicatos de alumínio e ferro) e, eventualmente, uma ou outras substâncias apropriadas ricas em sílica, alumina ou ferro, reduzida a pó muito fino, que se sujeita à acção de temperaturas da ordem de 1450°C, obtidas geralmente em grandes fornos rotativos” [SOUSA-COUTINHO 1988]. Durante a cozedura as matérias-primas reagem entre si dando origem ao clínquer. Este material deve ser arrefecido rapidamente, de forma a conservar a composição química dos constituintes, e moído, uma vez que a finura do material é tao importante quanto a composição química. Posteriormente é adicionado gesso, que funciona como retardador de presa, e outras adições formando o cimento [SOUSA-COUTINHO 1988; FARIA 2004].

2.5.2.Cal hidráulica natural

As cals hidráulicas naturais são constituídas maioritariamente por silicatos, aluminatos e hidróxidos de cálcio resultantes da queima de rocha calcária argilosa. O calcário, com percentagem de argila entre os 5% e 20%, quando é submetido a temperaturas entre os 900°C e 1200°C forma óxido de cálcio e, para além disso, a sílica e a alumina provenientes da argila combinam-se com o óxido de cálcio. Em seguida procede-se à hidratação dos compostos resultantes da cozedura, através de extinção com água, até se dar a total hidratação da cal viva, obtendo-se, então, a cal hidráulica natural que possui a capacidade de fazer presa fora ou dentro de água [FARIA 2004], e que têm de apresentar um teor mínimo de hidróxido de cálcio [IPQ, 2011].

As cals hidráulicas naturais têm actualmente constituição limitada e rigorosa definida pela norma NP EN 459-1: 2011 [IPQ 2011]. Segundo esta norma, as cals hidráulicas naturais são classificadas como NHL seguidas de um número que indica a classe de resistência à compressão (2, 3.5 ou 5 MPa). A cal hidráulica natural é actualmente obtida por cozedura inferior a 900°C seguida de extinção e redução a pó. Devido ao processo de fabrico, que requer menor consumo energético do que o dos cimentos, estas cals constituem um ligante hidráulico mais sustentável e, para além disso, com maior potencialidade de compatibilidade com suportes antigos [FARIA et al. 2012d].

2.5.3. Cal aérea

A cal aérea cálcica é um ligante que resulta da decomposição de uma rocha com percentagem não inferior a 95% de carbonato de cálcio na sua constituição. A cal aérea não apresenta propriedades hidráulicas, endurecendo unicamente ao ar, em contacto com o dióxido de carbono da atmosfera que é transportado pela humidade.

A decomposição é obtida através da acção da temperatura. Ao ser cozida, a temperaturas da ordem dos 900°C, a rocha transforma-se em óxido de cálcio e liberta dióxido de carbono para o ambiente. Nesta fase a cal é designada por cal viva e é bastante instável, pelo que é necessário proceder à sua hidratação. O processo de hidratação é designado por extinção da cal viva; trata-se de uma reacção exotérmica que ocorre quando o óxido de cálcio entra em contacto com a água e se transforma em hidróxido de cálcio. Este composto é usualmente nomeado de cal apagada, cal extinta ou cal hidratada [FARIA 2004].

Quando a cal hidratada se encontra novamente em contacto com o ar ambiente e humidade dá-se o processo de carbonatação, que consiste na reabsorção do dióxido de carbono (transportado pela humidade), quase reconstituindo a composição química da pedra de que é proveniente, obtendo-se novamente carbonato de cálcio [FARIA 2004; FARIA 2012a].

2.5.4.Terra argilosa

A terra possui várias vantagens como material construtivo: é um material sustentável, disponível em qualquer lugar e potencialmente pode contribuir activamente para a melhoria das condições de habitabilidade e conforto no interior dos edifícios. A argila da terra possui propriedades aglutinantes e, para além disso, a sua elevada higroscopicidade pode conferir-lhe a capacidade de absorver ou libertar o vapor de água do ambiente, funcionando como um regulador permanente de humidade relativa. Espera-se que a capacidade de uma argamassa com terra argilosa, aplicada nos paramentos interiores, actuar como um “buffer” de humidade influencie a percepção do conforto térmico e a salubridade do ar interior, contribuindo para uma diminuição dos problemas de saúde associados à humidade relativa do ar [FARIA et al. 2012c; LIMA 2013].

2.5.5.Pozolanas

As pozolanas começaram a ser utilizadas como aditivos, em argamassas, pelo menos pelos Gregos (1500 a.C.) e depois pelos Romanos. Nessa altura eram utilizadas pozolanas naturais, provenientes de solos vulcânicos, e mais tarde artificiais, de materiais cerâmicos britados e esmagados [RUSKULIS 2005].

Estes materiais, quando utilizados em argamassas, podem promover melhorias ao nível da resistência mecânica, propriedades hidráulicas e particularmente resistência à água potável e do mar e durabilidade. São constituídas por materiais siliciosos ou alumino-siliciosos amorfos que estabilizam e adquirem propriedades aglomerantes quando se combinam com ligantes hidráulicos ou aéreos e água. Existem pozolanas naturais, de origem vulcânica e que necessitam apenas de tratamento de moagem, e artificiais, obtidas através da cozedura de argilas ou subprodutos industriais e posterior moagem [FARIA 2004].

A adição ou substituição do ligante por pozolanas em argamassas de cal permite melhorias no comportamento ao nível da aplicabilidade, durabilidade, características mecânicas, permeabilidade à humidade, aderência ao suporte e resistência aos sais, conferindo às argamassas melhor capacidade de compatibilização com materiais antigos [FARIA 2012d; VEIGA et al. 2010].

A utilização de pozolanas provenientes de resíduos ou subprodutos industriais tem vantagens a nível ambiental e económico; confere aos resíduos um uso e um valor, impedindo que tenham de ser

depositados em aterro, e contribui para a utilização sustentável dos materiais de construção [GRILLO 2013; PONTES et al. 2012].

2.5.5.1. Metacaulino

O metacaulino é uma pozolana artificial, amorfa, fortemente reactiva e de granulometria fina, que se obtém através da calcinação e moagem de caulinos (argilas ricas em caulinite) a temperaturas entre os 600°C e 900°C [FARIA 2004].

2.5.5.2. Resíduos cerâmicos

A capacidade dos resíduos de material cerâmico de barro vermelho (telhas, tijolos, ladrilhos) em granulometria fina conferirem propriedades hidráulicas às argamassas motivou a sua utilização desde a antiguidade como pozolanas artificiais com alguma reactividade. Actualmente, muitos dos materiais cerâmicos são obtidos por cozedura de argilas a temperaturas superiores a 900°C, o que não apresenta as condições ideais para a obtenção de pozolanas (temperaturas até aos 800-900°C para que não se afecte a reactividade pozolânica devido a recristalizações) [FARIA 2004; FONTES 2013].

2.5.6. Fibras naturais e cortiça

As fibras naturais, provenientes de resíduos de indústrias, são um material sustentável, que pode ser técnica e economicamente eficiente. A utilização de fibras em argamassas poderá ser benéfica na resistência à tracção e, conseqüentemente, na diminuição da susceptibilidade à fendilhação [FARIA et al. 2012a; PEIXOTO et al. 2012]. Eventualmente podem apresentar alguma contribuição para o conforto térmico e higrotérmico.

A cortiça é o revestimento exterior, do tronco e ramos, do sobreiro que é retirada a cada nove anos; é constituída por células ocas e fechadas, em forma de prismas hexagonais (Fig.2.6).

A cortiça apresenta valores de condutibilidade térmica bastante baixos em comparação com outros materiais de construção correntes, devido à sua estrutura rica em vazios, pelo que pode ser usada como isolante térmico. Devido a esta característica morfológica de alta porosidade fechada este material apresenta uma massa volúmica baixa e um coeficiente de transmissão sonora também baixo. É um material natural, sustentável e reutilizável e, devido às características da sua estrutura, é um óptimo isolante térmico e acústico [GONÇALVES 2013; MARTINS 2010].

Actualmente utiliza-se este material maioritariamente para a produção de rolhas de garrafas. No processo de produção das rolhas de 1ª qualidade existe um desperdício estimado de 75% da cortiça recolhida, pelo que os resíduos podem ser aproveitados. São utilizados para a execução de revestimentos de pavimentos, sapatos, isolamento térmico em frigoríficos, isolamento acústico em submarinos e em aplicações aeronáuticas, e como matéria-prima para a construção, [GONÇALVES 2013; BRÁS et al. 2013].

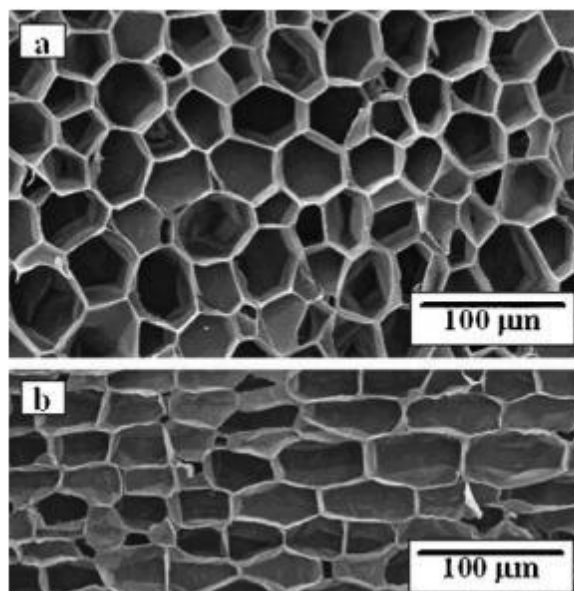


Figura 2.6 – Estrutura celular de coritça após ser fervida: a) secção radial; b) secção tangencial. [SILVA 2005]

2.5.7. Agregados

“ As areias são materiais granulados finos que são aglomerados por um ou mais ligantes constituindo o esqueleto das argamassas” [FARIA 2004]. Estes materiais são obtidos através da desagregação de rochas, utilizando-se, em argamassas, geralmente com dimensão máxima de 4,75mm.

De um ponto de vista químico podem distinguir-se dois grupos de areias: as siliciosas e as calcárias. As areias siliciosas são geralmente de rio ou areeiro, enquanto que as calcárias resultam geralmente de desperdícios de pedreiras. Consoante maior ou menor percentagem de argila que possuem existem também designações diferentes; as areias amarelas e de areeiro contêm algum teor de argila. “As areias argilosas conferem uma maior trabalhabilidade e resistências mecânicas às argamassas devido aos finos da argila mas a sua utilização (com percentagem de argila) pode reduzir a ligação do agregado à cal e implicar a necessidade de uma adição de maior quantidade de água na argamassa, o que incrementa fenómenos de retracção” [FARIA 2004, MATIAS 2013].

Em alguns casos utilizam-se outros produtos nas argamassas como agregados, tais como granulados ou resíduos cerâmicos ou de barro vermelho. Estes resíduos podem ser introduzidos com granulometria fina, como pozolana ou filler, ou com granulometria mais grosseira (partículas que passam no peneiro ASTM nº4 (4,75mm) e ficam retidas no peneiro nº8 (2,38 mm)) funcionando como agregados e introdutores de ar. A terra argilosa, quando utilizada em conjunto com um ligante mineral, pode ter um funcionamento de filler ao nível da microestrutura [FARIA 2004].

2.6. Características de argamassas

2.6.1. Argamassas de cal aérea, terra e cal aérea e terra

Tradicionalmente eram utilizadas argamassas de terra ou de misturas de terra e cal aérea em paredes de terra (taipa, alvenaria de adobe) ou de alvenaria de pedra (por exemplo de xisto); no entanto, o conhecimento das técnicas de construção tradicionais perdeu-se ao longo dos anos, paralelamente ao desenvolvimento dos ligantes hidráulicos [FARIA 2004; FARIA et al. 2012c; GOMES et al. 2012a].

As cals aéreas apresentam algumas dificuldades ligadas à sua preparação e utilização: quando utilizada na forma de cal viva, é necessária a preparação de pastas para a sua extinção; quando utilizadas em pó, criam uma poeira muito cáustica devido à finura do material e, para além disso, as argamassas de cal aérea são caracterizadas por uma presa e endurecimento lentos. Estes factores, que podem ser contornados, aliados à maior resistência e melhores características de endurecimento dos ligantes hidráulicos motivaram, durante décadas, o desaparecimento da cal dos estaleiros de obra [FARIA 2004; GOMES et al. 2012b].

A utilização, durante alguns anos, de argamassas com base em cimento, em intervenções de reabilitação e mesmo de conservação, provou que nem sempre os materiais e técnicas modernas proporcionam características de compatibilidade adequadas; então, a recente consciencialização ambiental, e a necessidade de aprimorar as técnicas de conservação e reabilitação, motivaram o reacender das técnicas tradicionais. Em adição, as técnicas e materiais tradicionais beneficiam de inúmeros anos de utilização que fornecem dados sobre o comportamento e durabilidade, o que não se verifica com as mais recentes, para as quais não existem, ainda, conhecimentos a longo prazo [FARIA 2004; GOMES et al. 2009; GOMES et al. 2012b; LIMA 2013].

Assim, as argamassas com base em terra apresentam inúmeras vantagens. Em termos ambientais a terra é o ligante mais sustentável de todos; não necessita de processamento industrial nem está associada a um gasto energético importante para a sua produção. Basicamente necessita de extração, moagem e transporte local. Então, quando se utiliza terra em substituição de outro ligante mineral, há uma contribuição para a utilização sustentável dos recursos. Economicamente o facto de se usar terra argilosa, que estará disponível localmente, como substituição total ou parcial do ligante ou do agregado, permitirá uma redução nos custos. Mas, para além disso, existem ainda benefícios nas características destas argamassas. Apresentam geralmente uma boa trabalhabilidade, se bem doseadas, com uma retracção controlada, com menor condutibilidade térmica, boa compatibilidade com múltiplos suportes e, quando utilizadas no interior, espera-se que possam contribuir significativamente para a melhoria da qualidade do ambiente interior pela sua capacidade de regularização da humidade relativa [FARIA 2012a; FARIA et al. 2012c; LIMA, 2013].

A presente dissertação surge no seguimento de vários estudos previamente realizados com base em argamassas de terra e de cal aérea e terra, pelo que será importante incluir estes trabalhos no estado de conhecimentos de uma forma mais particular do que os restantes. Em seguida serão assim descritos alguns trabalhos que se inserem na temática das argamassas de terra e cal aérea, e nos capítulos seguintes serão igualmente introduzidos resumos dos restantes trabalhos que antecedem a presente dissertação.

Gomes et al. (2012a,2012b) estudaram argamassas apenas de terra, com eventuais baixas percentagens de ligante e adição de fibras de cânhamo. A campanha experimental, a 90 dias, incluiu caracterização das argamassas no estado fresco (consistência por espalhamento e massa volúmica aparente) e no estado endurecido (retracção linear volumétrica, absorção de água por capilaridade, secagem, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tracção por flexão e à compressão).

Através deste estudo foi concluído que:

- A adição de fibras diminuiu a retracção linear e volumétrica e aumentou a resistência à compressão da maioria das argamassas; no entanto, proporcionou o aparecimento de bolor em todas as argamassas, excepto nas de cal aérea;
- A adição de pequenas quantidades de ligantes não promoveu melhorias a nível mecânico, e a adição de cal aérea piorou o comportamento face à capilaridade.

Na presente dissertação vão ser caracterizados provetes resultantes dos estudos de Gomes et al. (2012a,2012b), de argamassas apenas de terras argilosas ou com baixas dosagens em ligantes e fibras de cânhamo.

Dias (2013) desenvolveu e analisou argamassas com base num traço volumétrico de 1:3 de cal e uma mistura de três areias siliciosas lavadas e graduadas (argamassa padrão) que foram sujeitas a substituições crescentes do agregado mais fino por terra argilosa.

Os constituintes utilizados foram: areias siliciosas lavadas e graduadas APAS12, APAS20, APAS30, na proporção volumétrica de 1:1,5:1,5 na argamassa padrão, terra argilosa moída e homogeneizada, cal aérea hidratada em pó e água. O agregado mais fino, areia APAS30, foi substituído por terra argilosa nas percentagens de 5, 10, 15 e 25%.

Da campanha experimental interessa mencionar os ensaios elaborados nos provetes prismáticos e sobre tijolo, visto que foram os utilizados no presente trabalho.

- Caracterização dos constituintes das argamassas: análise granulométrica;
- Ensaio de caracterização das argamassas em estado fresco: consistência por espalhamento, retenção de água, teor em ar, massa volúmica;
- Ensaio de caracterização das argamassas em estado endurecido:

Provetes prismáticos - variações dimensionais e massa volúmica aparente, condutibilidade térmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tracção por flexão, resistência à compressão, absorção de água por capilaridade, secagem, porosidade aberta e massa volúmica aparente, porosimetria de mercúrio, resistência aos sulfatos.

Provetes em suporte de tijolo - velocidade de propagação de ultra-sons, dureza superficial por durómetro, absorção de água sob baixa pressão, condutibilidade térmica, porosimetria de mercúrio.

Jamú (2013) procedeu ao desenvolvimento e caracterização de argamassas de cal aérea com terra em substituição parcial do ligante, com um traço volumétrico mais forte (1:2). As matérias-primas utilizadas foram idênticas às utilizadas por Dias (2013). O traço volumétrico de base das argamassas foi

1:2 e fizeram-se substituições do ligante por terra argilosa, em percentagem mássica crescente (5%, 10%, 25%, 50%).

Este estudo foi paralelo ao de Dias (2013) pelo que a campanha experimental foi semelhante.

Dias (2013) e Jamú (2013) efectuaram nove provetes prismáticos para cada uma das argamassas (40x40x160 (mm)) e aplicaram uma camada de 2 cm das argamassas sobre tijolos furados com dimensão 200x300x70 (mm) e num sistema de reboco constituído por salpisco e camada de base aplicado sobre um murete de taipa em ambiente exterior. Os provetes prismáticos e em suporte de tijolo foram submetidos a condições de cura controladas de temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e humidade relativa de $65 \pm 5\%$.

Para ambos os estudos utilizaram provetes de duas amassaduras, respectivamente a 15 e 16 de Outubro de 2012. Posteriormente, a 30 de Outubro de 2012, realizaram uma nova amassadura da qual resultaram alguns dos provetes que serão utilizados no presente estudo.

De uma forma geral e resumida Dias (2013) concluiu que a introdução de terra nestas argamassas promoveu a melhoria das seguintes características: capacidade de retenção de água no estado fresco, condutibilidade térmica, módulo de elasticidade dinâmico e dureza superficial, e piorou os comportamentos face à água no estado endurecido, as resistências mecânicas (tração e compressão) e também as resistências aos sulfatos.

Jamú (2013) concluiu que as argamassas demonstram uma boa trabalhabilidade e que no estado fresco regista-se ainda um aumento de 10% a 20% do espalhamento sem adição de água. Nas argamassas aplicadas no murete de taipa, em ambiente exterior, a incorporação de terra é vantajosa para a aplicabilidade, dureza e resistência superficial e absorção inicial de água; no entanto a absorção de água total é maior nas argamassas com terra. Nos provetes prismáticos, de uma forma geral, a condutibilidade térmica diminuiu.

Na presente dissertação vão ser caracterizadas amostras e provetes resultantes dos estudos de Dias (2013) e Jamú (2013), de argamassas de cal aérea e terra argilosa, do mesmo tipo da utilizada por Gomes et al. (2012a,2012b), designada de terra padrão.

2.6.2.Argamassas com adição de fibras

A incorporação de fibras em argamassas tem suscitado interesse visto que as fibras podem funcionar como um reforço mecânico da argamassa e otimizar a condutibilidade térmica, susceptibilidade à fendilhação e resistência à tração. Para além disso, quando se equaciona a utilização de fibras provenientes de resíduos e subprodutos industriais, contribui-se ainda para a sustentabilidade dos recursos [FARIA 2012a; FARIA et al. 2012c; PEIXOTO et al. 2012].

Até ao presente foram feitos vários estudos [BOUHICHA et al. 2005; GHAVAMI et al. 1999; PRABAKAR & SRIDHAR 2002] sobre a adição de fibras naturais vegetais (palha, fibra de sisal e coco) que obtiveram resultados positivos. Verificaram-se melhorias ao nível da retracção, fissuração, tempo de cura, resistência à flexão por tração e ductilidade. Em relação a fibras naturais de origem animal não existem muitos estudos, mas Barone & Schmidt (2005) utilizaram fibra de pena de queratina, e concluíram que este tipo de fibras possui boa resiliência e recuperação elástica, pelo que poderá ser uma mais-valia como adição em argamassas [PEIXOTO et al. 2012; GALAN-MARÍN et al. 2010].

Santos (em finalização) caracterizou argamassas de cal aérea, areia e terra argilosa (semelhantes às caracterizadas por Dias (2013) e Jamú (2013)) mas com adições de fibras naturais (crina de cavalo, casca de arroz e *blouces* – resíduos - de lã de ovelha com pêlo morto).

Na presente dissertação vão ser caracterizadas amostras resultantes dos estudos de Santos (em execução).

2.6.3. Argamassas de cal hidráulica natural com eventual adição de pozolanas

Tal como a cal aérea, também a cal hidráulica natural foi bastante utilizada no passado mas, com o aparecimento do cimento Portland, também acabou por cair em desuso [GRILO 2013].

As argamassas de cal hidráulica natural apresentam características intermédias entre as de cal aérea e as de cimento. Uma das principais características destas argamassas é o facto de possuírem uma fase de endurecimento hidráulica, em contacto com a água, e outra em contacto com o dióxido de carbono do ar [FARIA 2004; FONTES 2013; GRILO 2013].

Fontes (2013) estudou argamassas de cal hidráulica natural NHL3.5 com substituição parcial de percentagens mássicas de cal por resíduo cerâmico ou por mistura do resíduo cerâmico e metacaulino. Foram elaborados provetes de argamassas de cal hidráulica natural com traço volumétrico 1:3 sem qualquer substituição, com 5% ou 10% de resíduo cerâmico em substituição de igual massa de cal e ainda com 5% ou 10% de resíduo cerâmico associado a 5% ou 10% de metacaulino.

Estas argamassas foram sujeitas a curas distintas: húmida, com aspersão inicial ou standard. A campanha experimental incluiu: análise granulométrica, difracção de raios, análise termogravimétrica, avaliação da reactividade pozolânica, determinação da baridade e superfície específica dos constituintes secos, ensaios de consistência por espalhamento no estado fresco, e no estado endurecido fizeram-se ensaios de condutibilidade térmica, dureza superficial, absorção de água sob baixa pressão, velocidade de propagação de ultra-sons e microestrutura por porosimetria de mercúrio, e ainda determinação do módulo de elasticidade, resistências mecânicas, absorção capilar e secagem e resistência aos sulfatos. Realizaram-se ainda caracterizações químicas e mecânicas das argamassas endurecidas.

Deste trabalho foi possível concluir que:

- As argamassas com resíduo cerâmico e metacaulino, em substituição da cal hidráulica natural, apresentam resistências mecânicas superiores às das argamassas sem estas adições e também às das argamassas apenas com adição de resíduo cerâmico.
- Nas argamassas com resíduo cerâmico e metacaulino observaram-se melhorias a nível da absorção capilar; a absorção foi mais lenta apesar de em igual quantidade; no entanto a secagem foi mais lenta e a resistência aos sulfatos consideravelmente inferior.
- Nas argamassas apenas com resíduo cerâmico a resistência aos sulfatos obteve resultados melhores do que nas restantes argamassas, a secagem foi mais rápida e a velocidade de absorção de água sob pressão mais lenta, mas a absorção de água por capilaridade foi mais rápida.
- Quanto às curas:
 - Argamassas sujeitas a cura húmida apresentam resistências mecânicas superiores, absorção capilar mais demorada e resistência aos sais mais fraca.

Argamassas expostas a cura com aspersão inicial apresentam, no geral, comportamento intermédio entre as curas húmida e standard, mas a resistência aos sulfatos apresenta melhores resultados.

Madeira (2013) analisou argamassas de cal hidráulica natural NHL3.5 ao traço 1:4 com adição de dois resíduos cerâmicos distintos, um deles iguais ao de Fontes (2013) (resíduo de ladrilhos de barro vermelho de revestimento exterior de paredes) e outro resultante de resíduos de tijolo furado corrente.

Grilo (2013) estudou argamassas com base em cal hidráulica natural sujeitas a curas distintas e com substituições mássicas de cal por Mk. Neste trabalho o autor concluiu que a adição de mk nas argamassas apresentou melhorias nas resistências mecânicas e nos comportamentos de absorção de água e secagem.

Foram utilizadas na presente dissertação amostras dos estudos de Fontes (2013), Madeira (2013) e Grilo (2013).

2.6.4. Argamassas de cimento e bastardas

O cimento Portland, de nome derivado da ilha de onde era extraída a pedra calcária que lhe deu origem, foi patenteado em 1824 por Joseph Aspdin. Devido ao aumento de resistência que o cimento conferia às argamassas, estas rapidamente tomaram o lugar das de cal aérea e hidráulica. As argamassas de cimento são ainda caracterizadas por elevada resistência mecânica, baixa absorção capilar, baixa permeabilidade ao vapor de água, alta resistência aos ciclos de gelo/degelo [BOTAS 2009; FARIA-RODRIGUES et al. 2004; MARTINS 2008].

Em seguida apresentam-se as principais vantagens e desvantagens da utilização de cimento em argamassas de reboco e ainda alguns aspectos relevantes das suas características que podem prejudicar o desempenho dos rebocos [adaptado de MARTINS 2008].

Vantagens:

- Boa resistência mecânica incrementada com o teor de cimento;
- Boa resistência ao choque e à abrasão;
- Boa aderência ao suporte, que beneficia da utilização de areia grossa.

Desvantagens:

- Possibilidade de ocorrência de microfissuras durante a secagem devido à libertação de água à superfície se dar mais rapidamente do que em profundidade;
- Quando utilizado em dosagens excessivas pode conferir rigidez excessiva ao reboco, tornando-o pouco deformável e impedindo-o de acompanhar alterações do suporte ou estrutura;
- Baixa permeabilidade ao vapor de água e reduzida porosidade, que impede a saída de humidades que tenham penetrado nos paramentos, possibilitando a ocorrência de anomalias;
- Aparecimento de tensões causado pela elevada variação dimensional térmica em comparação com argamassas de ligantes aéreos e vários suportes;
- Libertação de grandes quantidades de sais solúveis que poderão causar uma deterioração mais acelerada;

- Quebra de resistência brusca à acção dos sulfatos.

As argamassas são denominadas bastardas quando possuem uma mistura de ligantes (normalmente um aéreo e outro hidráulico) na sua constituição.

Estas argamassas geralmente possuem características intermédias entre as de cada um dos ligantes. São utilizadas quando um ligante sozinho não apresenta as características suficientes para a aplicação pretendida e se tenta obter as melhores características dos dois tipos de ligantes utilizados [FARIA-RODRIGUES et al. 2004; PEREIRA 2008].

As argamassas bastardas de cimento e cal aérea combinam as vantagens das argamassas de cimento (presa rápida e elevada resistência mecânica inicial) com as de cal aérea (alta retenção de água, boa trabalhabilidade, elevada porosidade e permeabilidade ao vapor de água, boa compatibilidade química com os suportes); no entanto, possuem também as desvantagens dos dois tipos de ligantes. Como resultado desta mistura obtêm-se argamassas com melhor trabalhabilidade, maior deformabilidade, resistência à fendilhação e porosidade e menor retracção do que as de cimento mas com possibilidade de ocorrência de incompatibilidade mecânica com o suporte e fraca resistência à acção dos sais [FARIA 2004].

Faria (2004) estudou argamassas diversas, incluindo de cimento, cal aérea e bastardas, de forma a avaliar a influência dos ligantes e materiais constituintes das argamassas nas suas características de forma a optimizar a sua aplicação em edifícios antigos.

Foram utilizadas na presente dissertação amostras do estudo de Faria (2004).

3. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

3.1. Grupos de argamassas

A presente dissertação utiliza provetes de vários estudos previamente realizados ou em fase de finalização e que foram sinteticamente descritos no capítulo do estado do conhecimento:

- (Faria et al., em finalização) - Provetes de argamassas para rebocos de diversas terras simples, estabilizadas com areias, sem e com baixas percentagens de adição de fibras (palha) ou de ligantes minerais, executadas no âmbito do seminário e curso de Rebocos de Terra que decorreu no Campus da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa entre 10 e 13 de Julho de 2013.

- Gomes et al. (2012a;2012b) – Provetes de argamassas de terra para a reparação de paredes de taipa deterioradas; utilizaram material de três paredes de taipa antigas e uma terra comercial; as argamassas tiveram adição de uma areia siliciosa lavada grossa e eventuais pequenas percentagens de diferentes ligantes e de fibras de cânhamo.

- Dias (2013) – Provetes de argamassas para rebocos de cal aérea e uma mistura de areias siliciosas, lavadas e graduadas. e com substituição parcial da areia fina pela mesma terra argilosa comercial utilizada por Gomes et al. (2012a;2012b).

- Jamú (2013) – Provetes de argamassas para rebocos de cal aérea e a areia utilizada por Dias (2013) e com substituição parcial da cal pela terra argilosa comercial utilizada por Gomes et al. (2012a;2012b).

- Santos (em finalização) – Provetes de argamassas para rebocos de cal aérea, a areia utilizada por Dias (2013) e a terra argilosa utilizada por Gomes et al. (2012a;2012b) com adições de fibras naturais.

- Grilo (2013), Fontes (2013) e Madeira (2013) – Provetes de argamassas de cal hidráulica natural NHL3.5 e a areia utilizada por Dias (2013) sem adições (referência) e com adição de resíduos cerâmicos ou substituição parcial da cal por resíduo cerâmico.

- Faria (2004) – Provetes de argamassas de cal aérea, cimento e bastardas com uma areia de rio corrente da zona de Lisboa.

A escolha destas argamassas pretende incluir os vários tipos de ligantes comumente utilizados e ainda cobrir um vasto leque de argamassas com argila, presente na terra e nos resíduos cerâmicos, para que possam ser comparadas com argamassas correntes, sem argila, de forma a avaliar a influência deste constituinte na higroscopicidade dos rebocos.

Apenas para alguns casos foram ainda analisados alguns provetes contaminados com sais, provenientes do ensaio de resistência aos sulfatos, visto que os sais apresentam propriedades higroscópicas que poderão influenciar o desempenho da argamassa.

Foram também analisados provetes de argamassa de base com uma camada fina de argamassa de acabamento, realizada com agregado mais fino, para apurar a influência de acabamentos deste tipo no comportamento das argamassas.

Por último, estudaram-se ainda provetes de argamassas aplicadas sobre suporte de tijolo de forma a validar o ensaio e verificar se o suporte e/ou provetes de maior dimensão poderão alterar o comportamento higroscópico das argamassas, face a provetes sem suporte e de menores dimensões.

Os provetes de cada argamassa permitem uma análise ao nível do material, ou seja, ao nível das propriedades de cada argamassa individualmente; para obter resultados mais aproximados dos que seriam observados na realidade efectuaram-se ensaios em provetes que representam situações ao nível de sistema. Estes provetes são constituídos por combinações de elementos que provavelmente se observariam num caso real: o reboco sobre o suporte (tijolo) e com camadas de acabamento.

Os provetes utilizados foram previamente sujeitos a ensaio de determinação de porosidade aberta, excepto os de Gomes et al. (2012a;2012b), e de capilaridade, secagem e absorção de água por tubos de Karsten. Os provetes contaminados com sulfatos foram previamente sujeitos a ensaio de resistência aos sulfatos.

Criaram-se grupos de provetes de argamassas para melhor organização do trabalho e entendimento dos dados e resultados.

Estes grupos foram construídos de forma a juntar as argamassas e provetes com as mesmas características.

- Grupo 1: argamassas de terras distintas com ou sem adição fibras, elaboradas no Seminário e Curso de Especialização em Rebocos de Terra, em provetes cilíndricos. Dimensões: diâmetro aproximado de 6cm e espessura de 2cm.

- Grupo 2: argamassas de terra (padrão e de paredes de taipa) em provetes cúbicos, simples, com eventual adição de baixas percentagens de cal aérea de fibras de cânhamo elaborados por Gomes et al. (2012a, 2012b). Dimensões: cúbicos com arestas de cerca de 5 cm.

- Grupo 3: argamassas de cal aérea, cal e terra padrão e fibras em provetes prismáticos elaborados por Dias (2013), Jamú (2013) e Santos (em execução). Dimensões: paralelepípedos, limados para apresentarem espessura aproximada de 2 cm, e com largura e comprimento de 5 cm.

- Grupo 4: argamassas de cal aérea e terra, iguais às do grupo 3, em provetes contaminados com sulfatos, elaborados por Dias (2013) e Jamú (2013). Dimensões: paralelepípedos, limados para apresentarem espessura aproximada de 2 cm, e com largura e comprimento de 5 cm.

- Grupo 5: argamassas de cal aérea e terra, iguais às do grupo 3, aplicadas sobre tijolos elaboradas por Dias (2013) e Jamú (2013). Dimensões: espessura de 2cm com comprimento de 30cm por 20cm de largura.

- Grupo 6: argamassas de cal hidráulica natural e de cal hidráulica e resíduos cerâmicos em provetes prismáticos, elaborados por Grilo (2013), Fontes (2013) e Madeira (2013). Dimensões: paralelepípedos, limados para apresentarem espessura aproximada de 2 cm, e com largura e comprimento de 5 cm.

- Grupo 7: argamassas de cimento, cal aérea e bastarda de cimento e cal aérea em provetes prismáticos elaborados por Faria (2004). Dimensões: paralelepípedos, limados para apresentarem espessura aproximada de 2 cm, e com largura e comprimento de 5 cm.

3.2. Matérias-primas

Em seguida apresentam-se detalhadamente as matérias-primas das argamassas de cada um dos grupos.

3.2.1. Matérias-primas das argamassas do Grupo 1

Para este grupo utilizaram-se argamassas realizadas no âmbito do Curso de Especialização em Rebocos de Terra que decorreu no Campus da Caparica da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa de 11 a 13 de Julho de 2013.

As argamassas deste grupo utilizaram as seguintes terras e areias:

- TA: terra proveniente do Pragal, de cor castanha, de granulometria média e com pedras.
- TB: terra de cor castanha muito escura, com raízes e pedras grandes e laminares.
- TC: terra proveniente de escavações na zona do Marques de Pombal, de cor castanho camurça, com pedras grandes.
- TD: terra de origem desconhecida com cor castanho avermelhada e torrões grandes e com pedras.
- TE: terra de cor avermelhada com aspecto de grão de tijolo moído.
- S1: Areia siliciosa com argila (amarela).
- S2: Areia siliciosa lavada (branca).
- Sf: sílica fina.

As areias, quando utilizadas, foram introduzidas em proporção volumétrica face à terra.

Em duas das argamassas foram utilizadas pequenas percentagens volumétricas dos seguintes ligantes:

- Cal aérea hidratada em pó CL90-S, disponibilizada pela Lusical, comercializada com a designação de H100, com baridade 362 kg/m^3 (igual à cal utilizada nos grupos 2, 3, 4 e 5).

Quadro 3.1 – Composição química da cal aérea dos Grupos 1, 2, 3 e 4 [GAMEIRO et al. 2013].

Composição química (%)					
SiO ₂	AL ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO
-	0,01	0,15	0,01	3,09	76,74
Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₆	L.O.I.	
-	0,02	0,04	0,01	20,45	

- Cal hidráulica natural NHL3.5, fabricada pela SECIL Martingança, disponibilizada pelo produtor em Outubro de 2012, tratando-se do segundo lote produzido (igual à do Grupo 6 utilizada por Madeira (a aguardar marcação de provas)).

Em algumas das argamassas foi ainda adicionada palha cortada (FT) e granulado de cortiça.

3.2.2. Matérias-primas das argamassas do Grupo 2

As argamassas do grupo 2 são constituídas pelas seguintes terras [GOMES et al. 2012a; GOMES et al. 2012b]:

- TP: Terra-padrão, fornecida pela empresa Sorgila e proveniente da zona de Redinha- Pombal, com grande percentagem de finos e com argilas caulínicas (Quadro 3.2) de baixa expansibilidade. Esta terra foi sujeita a moagem, para desagregar os torrões presentes, e homogeneização com auxílio de um repartidor. A baridade determinada foi de 1136,4 kg/m³ e a composição mineralógica é apresentada no quadro 3.2.

- TAV: Terra de parede de taipa de Avis
- TPD: Terra de parede de taipa de Pá Danado
- TVC: Terra de parede de taipa de Val Chaim

Quadro 3.2 – Composição mineralogia da terra-padrão, do Grupo 2, obtida por difracção de raios x [GOMES 2012b].

Compostos cristalinos identificados						
Quartzo	Feldspatos	Mica	Clorite	Caulinite	Geotite	Anatase
+++	Vtg	Vtg	?	++	+	+/ Vtg

Notação: +++ proporção elevada; ++ proporção média; + proporção fraca; Vtg vestígios; ? dúvidas na presença

Utilizou-se uma areia lavada (0,6 - 2 mm) de baridade 1429,9 kg/m³, daqui em diante denominada S3, proveniente de uma pedreira em Colmeias-Leiria e disponibilizada pela empresa Sorgila, de composição mineralógica quartzosa. Esta areia não foi utilizada com a terra de Avis, enquanto com as restantes terras foi utilizada nas proporções volumétricas de terra:areia de 1:1,5 para a terra de Pá Danado e de 1:3 para a terra Val de Chaim e para a terra Padrão, com o intuito de diminuir a retracção causada pela argila presente nas terras.

O ligante utilizado foi a mesma cal aérea hidratada em pó utilizada no Grupo 1 mas neste caso utilizada considerando uma baridade de 329,1 kg/m³. Efectuou-se uma adição crescente da cal aérea nas argamassas, em percentagem em relação à massa da terra (0%, 5%, 10% e 15%) com ou sem 5% de fibras de cânhamo - hemp (FH), também em relação à massa de terra e fornecidas pela Empresa Aubiose.

3.2.3. Matérias-primas das argamassas dos Grupos 3, 4 e 5

As argamassas do Grupo 3 e 4 e 5 [DIAS 2013; JAMÚ 2013; SANTOS em execução] tiveram como agregado principal uma mistura de três areias siliciosas (S4), lavadas e graduadas, com diferentes granulometrias (APAS12, APAS20, APAS30), sendo a APAS12 a areia de granulometria mais grossa e a APAS 30 a mais fina. Estas areias foram utilizadas misturadas entre si na proporção volumétrica de 1:1,5:1,5, respectivamente. No quadro 3.3 apresentam-se os valores das baridades das areias e da mistura das três areias.

Quadro 3.3 – Baridades das três areias e da mistura do Grupo 2, 3 e 4 [MASSENA 2011].

Material	Baridade [kg/m ³]
APAS12	1412
APAS20	1405
APAS30	1388
Mistura	1463

A terra utilizada, em substituição do agregado fino ou do ligante, é a Terra Padrão (TP), idêntica à do Grupo 2.

O ligante utilizado foi a mesma cal aérea hidratada em pó, da marca Lusical, utilizada nos Grupos 1 e 2, considerada neste caso e à semelhança do Grupo 1, com baridade 362 kg/m^3 . A composição química da cal aérea foi apresentada no quadro 3.1.

Em algumas argamassas destes grupos foram adicionadas as seguintes fibras: FA: casca de arroz; FO: resíduo de lã de ovelha; FC: crina de cavalo.

Os provetes das argamassas do grupo 4 foram previamente sujeitos ao ensaio de resistência aos sulfatos pelo que se encontram contaminados por estes sais e apresentam dimensões mais irregulares que os provetes dos restantes grupos.

3.2.4. Matérias-primas das argamassas do Grupo 6

O agregado das argamassas deste grupo [FONTES 2013; GRILO 2013; MADEIRA 2013] foi igual ao dos grupos 2, 3, 4 e 5, constituído pela mistura de três areias (S4), APAS12, APAS20, APAS30, com traço volumétrico 1:1,5:1,5, respectivamente.

O ligante utilizado por Fontes (2013) e Grilo (2013) foi uma cal hidráulica natural NHL3.5, fabricada pela SECIL Martingança, lote de Janeiro de 2012. Apresentam-se no quadro 3.4 os compostos químicos presentes nesta cal, obtidos por análise química.

A cal utilizada por Madeira (2013) é proveniente de um lote diferente, disponibilizada pelo produtor em Outubro de 2012, tratando-se do segundo lote produzido.

Quadro 3.4 – Composição química da cal hidráulica natural NHL3.5 do Grupo 3 [GRILO et al. 2013].

Composição química (%)						
CO ₂	Na ₂ O	MgO	AL ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃
25,660	0,084	1,364	1,840	5,704	0,033	1,292
K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	Rb ₂ O
0,493	62,073	0,136	0,017	1,218	-	0,003
SrO ₂	Y ₂ O ₃	ZrO ₂	BaO	Cl		
0,064	0,002	0,004	-	0,016		

Em algumas das argamassas deste grupo utilizou-se metacaulino (Mk), em substituição parcial da massa de cal. Este metacaulino, designado por Argical M-1200S, foi fornecido pela Imerys e de origem francesa. No quadro 3.5 apresenta-se a composição química do Mk.

Quadro 3.5 – Composição química do Metacaulino do Grupo 3 [GAMEIRO et al. 2013].

Composição química (%)					
SiO ₂	AL ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	SO ₃
54,39	39,36	1,75	0,01	0,14	-
CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	L.O.I.
0,1	-	1,03	1,55	0,06	1,9

Utilizaram-se também dois resíduos cerâmicos, em substituição parcial da massa de cal:

Resíduo cerâmico 1 (R1) - proveniente de desperdícios de ladrilhos cerâmicos, aplicados na substituição do revestimento cerâmico da fachada do Edifício do Departamento de Engenharia Civil da FCT-UNL.

Resíduo cerâmico 2 (R2) - resíduo de tijolo furado corrente.

Ambos os resíduos foram moídos e foi utilizada a granulometria mais fina.

3.2.5. Matérias-primas das argamassas do Grupo 7

Na elaboração das argamassas deste grupo de provetes Faria (2004) utilizou os seguintes materiais:

- Cal aérea hidratada Lusical com baridade 570 kg/m³;
- Cimento SECIL tipo II e de classe 32,5N com baridade 1280 kg/m³;
- Areia siliciosa de rio corrente (S5) da região de Lisboa sujeita a peneiração, para eliminar pedras pequenas, com baridade 1590 kg/m³.

Todos os valores da baridade foram determinados com compactação do material granular no molde, pelo que, independentemente de algumas diferenças nos materiais, são mais elevados que os determinados nos estudos anteriores.

Quadro 3.6 – Composição química da cal aérea do grupo 7 [FARIA 2004].

Composição química (%)					
SiO ₂	AL ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
0,09	0,20	0,32	71,96	0,40	0,68
CL ⁻	ND	PF	RI		
n.d.	0,95	25,40	0,03		

n.d. – não detectado; ND – não determinado; PF – perda ao fogo; RI – resíduo insolúvel.

Quadro 3.7 – Composição química do cimento do grupo 7 (valores médios resultantes de autocontrolo durante 1 ano, adaptado de [FARIA 2004]).

Composição química (%)					
SiO ₂	AL ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
16,42	3,60	2,62	58,79	2,87	2,96
CL ⁻	Cal livre	ND	PF	RI	
0,02	1,10	1,35	11,18	1,98	

n.d. – não detectado; ND – não determinado; PF – perda ao fogo; RI – resíduo insolúvel.

3.3. Condições de cura

Uma vez que os provetes utilizados neste estudo foram efectuados por vários autores e no âmbito de trabalhos distintos, as condições de cura a que foram submetidos não foram as mesmas em todos os casos. Em seguida descrevem-se os vários tipos de curas utilizados, que serão posteriormente associados a cada argamassa através das últimas letras da nomenclatura apresentada no quadro 3.8.

- **L:** Cura em laboratório - os provetes foram mantidos no molde até apresentarem dureza suficiente para a desmoldagem (cerca de uma semana) e mantidos em laboratório com temperatura média de 25°C e 65%HR até ser iniciada a campanha experimental.

- **HD:** Cura inicialmente húmida e depois seca - os provetes foram mantidos no molde durante 7 dias dentro de um saco fechado de polietileno, em seguida foram retirados do saco e colocados em sala condicionada ($20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $50\pm 5\%$ HR) durante mais 7 dias; após este período, os provetes foram desmoldados e mantiveram-se na sala controlada.
- **H:** Cura húmida – os provetes foram colocados dentro de um saco de polietileno logo após a moldagem e até ao 5º dia, e em seguida foram colocados em câmara com $90\pm 5\%$ de HR.
- **A:** Cura com aspersão inicial de água – os provetes foram colocados em sala condicionada ($20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65\pm 5\%$ HR) e aspergidos com água do 2º ao 5º dia.
- **St:** Cura standard – os provetes foram colocados dentro de um saco de polietileno durante os primeiros 5 dias e depois colocados a $65\pm 5\%$ de HR.
- **D:** Cura seca – os provetes foram sujeitos a cura em ambiente controlado à temperatura de $23\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $50\pm 5\%$ de HR.

3.4. Argamassas e provetes ensaiados

Durante a campanha experimental apenas se elaboraram os provetes das argamassas do Grupo 1 visto que, para as restantes argamassas, se utilizaram provetes previamente realizados por outros autores (quadro 3.8).

Para as argamassas do Grupo 1 efectuaram-se então moldes, com recurso a tubos de pvc, de diâmetro exterior de 75 mm e interior de 70 mm, cortados em anéis com 20 mm de altura (figura 3.1).

Os provetes foram moldados à mão nos moldes e sempre pela mesma pessoa, de forma a minimizar as diferenças ao nível da compactação. Efectuaram-se três provetes para cada argamassa.

Para estes provetes foi adoptada a cura L, ou seja, os provetes foram mantidos no molde até apresentarem dureza suficiente para a desmoldagem (cerca de uma semana) e sujeitos a temperatura e HR médias de 25°C e 65%, até ser iniciada a campanha experimental.

No quadro 3.8 apresenta-se uma síntese de todas as argamassas ensaiadas durante a campanha experimental.

Os provetes da argamassa TB_1:2S2_10CL_L não foram ensaiados porque se destruíram na desmoldagem; não apresentavam consistência suficiente quando foram retirados do molde (figura 3.2).

Dos provetes da argamassa TB_1:1Cortiça_L (figura 3.3) apenas dois foram ensaiados porque sofreram uma retração elevada durante o processo de cura e um dos provetes fendilhou, partindo-se em vários bocados.

Nos provetes em que se aplicou uma camada de acabamento com areia fina verificou-se que a argamassa com menor teor em areia apresentou melhores características de trabalhabilidade do que a mesma argamassa mas com maior teor de areia.



Figura 3.1 – Moldes de PVC usados para as argamassas do grupo 1.



Figura 3.2 – Provetes da argamassa TB_1:2S2_10CL_L após a desmoldagem.



Figura 3.3 – Provetes da argamassa TB_1:1Cortiça_L antes da desmoldagem.

Quadro 3.8 – Descrição dos constituintes, data de amassadura e tipo de provetes das argamassas ensaiadas.

Designação dos provetes	Descrição	Data de amassadura	Dimensões dos provetes	Grupo
TA_1:3S1_L	Argamassa de terra A e areia S1 ao traço 1:3	Amassadura em 13/7/2013 e 14/7/2013 e moldagem em 15/7/2013.	Cilíndricos (6 cm diâmetro, 2 cm de espessura).	1
TB_1:3S1_L	Argamassa de terra B e areia S1 ao traço 1:3			
TB_1:2S2_L	Argamassa de terra B e areia S2 ao traço 1:2			
TB_1:3S2_L	Argamassa de terra B e areia S2 ao traço 1:3			
TB_1:4S2_L	Argamassa de terra B e areia S2 ao traço 1:4			
TB_1:1Cortiça_L	Argamassa de terra B e cortiça ao traço volumétrico 1:1			
TB_1:2S2_10CL_L	Argamassa de terra B e areia S2 ao traço 1:2 com 10% do volume de terra de cal aérea			
TB_1:2S2_5NHL_L	Argamassa de terra B e areia S2 ao traço 1:2 com 5% do volume de terra de cal hidráulica			

Designação dos provetes	Descrição	Data de amassadura	Dimensões dos provetes	Grupo
TC_1:2S2_L	Argamassa de terra C e areia S2 ao traço 1:2	Amassadura em 13/7/2013 e 14/7/2013 e moldagem em 26/7/2013.		
TC_1:3S2_L	Argamassa de terra C e areia S2 ao traço 1:3			
TE_1:3S1_L	Argamassa de terra E e areia S1 ao traço 1:3			
TE_1:2S2_L	Argamassa de terra E e areia S2 ao traço 1:2			
TE_1:3S2_L	Argamassa de terra E e areia S2 ao traço 1:3			
TE_1:2S2+TE_1:1,5sf_L	Argamassa de terra E e areia S2 ao traço 1:2 com camada de acabamento de argamassa de terra E e areia de sílica fina (sf) ao traço 1:1,5			
TE_1:3S2+TE_1:2sf_L	Argamassa de terra E e areia S2 ao traço 1:3 com camada de acabamento de argamassa de terra E e areia de sílica fina ao traço 1:2			
PreDos_L	Argamassa pré-doseada de terra, duas areias e fibras vegetais			
TB_1:1S1/S2_20FT_L	Argamassa de terra B e areia S1 ou S2 (não foi possível confirmar a areia, no entanto sabe-se que terá que ser a S1 ou S2) ao traço 1:1 e com 20% do volume da terra de fibras de trigo			
TB_1:3S1/S2_20FT_L	Argamassa de terra B e areia S1 ou S2 ao traço 1:3 e com 20% do volume da terra de fibras de trigo			
TB_1:3S1/S2_40FT_L	Argamassa de terra B e areia S1 ou S2 ao traço 1:3 e com 40% do volume da terra de fibras de trigo			
TB_40FT_L	Argamassa de terra B ao traço 1:0 e com 40% do volume da terra de fibras de trigo			
TB_60FT_L	Argamassa de terra B ao traço 1:0 e com 60% do volume da terra de fibras de trigo			
TB_80FT_L	Argamassa de terra B ao traço 1:0 e com 80% do volume da terra de fibras de trigo			
TB_100FT_L	Argamassa de terra B ao traço 1:0 e com 100% do volume da terra de fibras de trigo			
TC_1:1S1/S2_20FT_L	Argamassa de terra C e areia S1 ou S2 ao traço 1:1 e com 20% do volume da terra de fibras de trigo			
TC_1:3S1/S2_40FT_L	Argamassa de terra C e areia S1 ou S2 ao traço 1:3 e com 40% do volume da terra de fibras de trigo			
TC_40FT_L	Argamassa de terra C ao traço 1:0 e com 40% do volume da terra de fibras de trigo			
TC_60FT_L	Argamassa de terra C ao traço 1:0 e com 60% do volume da terra de fibras			

Designação dos provetes	Descrição	Data de amassadura	Dimensões dos provetes	Grupo
	de trigo			
TC_80FT_L	Argamassa de terra C ao traço 1:0 e com 80% do volume da terra de fibras de trigo			
TC_100FT_L	Argamassa de terra C ao traço 1:0 e com 100% do volume da terra de fibras de trigo			
TC_120FT_L	Argamassa de terra C ao traço 1:0 e com 120% do volume da terra de fibras de trigo			
TP_1:3S3_HD	Argamassa de Terra Padrão (TP) e areia S3 ao traço volumétrico 1:3.			
TP_1:3S3+5F_HD	Argamassa de Terra TP e areia S3 ao traço volumétrico 1:3 com adição de 5% de fibra de cânhamo (em relação à massa de terra)			
TP_1:3S3_5CL_HD	Argamassa de Terra TP e areia S3 ao traço volumétrico 1:3 com adição de 5% de cal aérea (em relação à massa de terra)			
TP_1:3S3_10CL_HD	Argamassa de Terra TP e areia S3 ao traço volumétrico 1:3 com adição de 10% de cal aérea (em relação à massa de terra)			
TP_1:3S3_15CL_HD	Argamassa de Terra TP e areia S3 ao traço volumétrico 1:3 com adição de 15% de cal aérea (em relação à massa de terra)	Gomes et al. (2012a, 2012b)	Cúbicos (6x6x6 cm).	2
TP_1:3S3_5CL+5F_HD	Argamassa de Terra TP e areia S3 ao traço volumétrico 1:3 com adição de 5% de cal aérea e 5% de fibra de cânhamo (em relação à massa de terra)			
TP_1:3S3_10CL+5F_HD	Argamassa de Terra TP e areia S3 ao traço volumétrico 1:3 com adição de 10% de cal aérea e 5% de fibra de cânhamo (em relação à massa de terra)			
TAV_HD	Argamassa de Terra de Avis ao traço 1:0 (só de terra)			
TPD_1:1,5S3_HD	Argamassa de Terra Pá Danado e areia S3 ao traço volumétrico 1:1,5			
TVC_1:3S3_HD	Argamassa de Terra Val de Chaim e areia S3 ao traço volumétrico 1:3			
CL_1:2S4_A	Argamassa de cal aérea e areia S4 ao traço volumétrico 1:2	30/10/2012 Jamú (2013)	Prismáticos (4x4x16 cm), sobre tijolo (20x30x7 cm), contaminados com sulfatos	3, 4 e 5
CL_1:2S4_5TP_A	Argamassa de cal aérea e areia S4 ao traço volumétrico 1:2 com 5% de massa de terra em substituição de cal		Prismáticos (4x4x16 cm)	

Designação dos provetes	Descrição	Data de amassadura	Dimensões dos provetes	Grupo	
CL_1:2S4_10TP_A	Argamassa de cal aérea e areia S4 ao traço volumétrico 1:2 com 10% de massa de terra em substituição de cal	30/10/2012 Dias (2013)	Prismáticos (4x4x16 cm), sobre tijolo (20x30x7 cm), contaminados com sulfatos		
CL_1:2S4_25TP_A	Argamassa de cal aérea e areia S4 ao traço volumétrico 1:2 com 25% de massa de terra em substituição de cal				
CL_1:2S4_50TP_A	Argamassa de cal aérea e areia S4 ao traço volumétrico 1:2 com 50% de massa de terra em substituição de cal				
CL_1:3S4_A	Argamassa de cal aérea e areia S4 ao traço volumétrico 1:3		30/10/2012 Dias (2013)		Prismáticos (4x4x16 cm)
CL_1:3S4_5TP_A	Argamassa de cal aérea e areia S4 ao traço volumétrico 1:3 com 5% de massa de terra em substituição de areia fina				
CL_1:3S4_10TP_A	Argamassa de cal aérea e areia S4 ao traço volumétrico 1:3 com 10% de massa de terra em substituição de areia fina				Prismáticos (4x4x16 cm), sobre tijolo (20x30x7 cm), contaminados com sulfatos.
CL_1:3S4_15TP_A	Argamassa de cal aérea e areia S4 ao traço volumétrico 1:3 com 15% de massa de terra em substituição de areia fina				
CL_1:3S4_25TP_A	Argamassa de cal aérea e areia S4 ao traço volumétrico 1:3 com 25% de massa de terra em substituição de areia fina	4/2/2013 Santos (em execução)	Prismáticos (4x4x16 cm)		
CL_1:2S4_25TP_9,2FA_A	Argamassa de cal aérea e areia S4 ao traço volumétrico 1:2 com 25% de massa de terra em substituição de cal e com adição de 9,2% fibras de casca de arroz (em relação à massa de cal)				
CL_1:3S4_10TP_10,4FA_A	Argamassa de cal aérea e areia S4 ao traço volumétrico 1:3 com 10% de massa de terra em substituição de areia fina e com adição de 10,4% de fibras de casca de arroz (em relação à massa de cal)				
CL_1:2S4_25TP_5FC_A	Argamassa de cal aérea e areia S4 ao traço volumétrico 1:2 com 25% de massa de terra em substituição de cal e com adição de 5% de fibras de crina de cavalo (em relação à massa de cal)	13/2/2013 Santos (em execução)			
CL_1:2S4_25TP_3,5FO_A	Argamassa de cal aérea e areia S4 ao traço volumétrico 1:2 com 25% de massa de terra em substituição de cal e				

Designação dos provetes	Descrição	Data de amassadura	Dimensões dos provetes	Grupo
	com adição da 3,5% de fibras de lã de ovelha (em relação à massa de cal)			
CL_1:2S4_25TP_1,7FO_A	Argamassa de cal aérea e areia S4 ao traço volumétrico 1:2 com 25% de massa de terra em substituição de cal e com adição de 1,7% de fibras de lã de ovelha (em relação à massa de cal)			
CL_1:3S4_10TP_3,9FO_A	Argamassa de cal aérea e areia S4 ao traço volumétrico 1:3 com 10% de massa de terra em substituição de areia fina e com adição de 3,9% de fibras de lã de ovelha (em relação à massa de cal)			
CL_1:3S4_10TP_2FO_A	Argamassa de cal aérea e areia S4 ao traço volumétrico 1:3 com 10% de massa de terra em substituição de areia fina e com adição de 2% fibras de lã de ovelha (em relação à massa de cal)			
NLH_1:3S4_St	Argamassa de cal hidráulica natural NHL3.5 e areia S4 ao traço volumétrico 1:3	Grilo (2013)		
NHL_1:3S4_H	Argamassa de cal hidráulica natural NHL3.5 e areia S4 ao traço volumétrico 1:3			
NHL_1:3S4_5R1_A	Argamassa de cal hidráulica natural NHL3.5 e areia S4 ao traço 1:3 com substituição de 5% de massa de cal por resíduo cerâmico 1 (R1)			
NHL_1:3S4_10R1_A	Argamassa de cal hidráulica natural NHL3.5 e areia S4 ao traço 1:3 com substituição de 10% de massa de cal por resíduo cerâmico 1			
NHL_1:3S4_5R1+5Mk_A	Argamassa de cal hidráulica natural NHL3.5 e areia S4 ao traço 1:3 com substituição de 10% de massa de cal por resíduo cerâmico 1 e metacaulino.	Fontes (2013)		
NHL_1:3S4_5R1+10Mk_A	Argamassa de cal hidráulica natural NHL3.5 e areia S4 ao traço 1:3 com substituição de 15% de massa de cal por resíduo cerâmico 1 e metacaulino.			
NHL_1:3S4_10R1+10Mk_A	Argamassa de cal hidráulica natural NHL3.5 e areia S4 ao traço 1:3 com substituição de 20% de massa de cal por resíduo cerâmico 1 e metacaulino.			
NHL_1:4S4_A	Argamassa de cal hidráulica e areia S4 ao traço volumétrico 1:4.			
NHL_1:4S4_10R1_A	Argamassa de cal hidráulica natural NHL3.5 e areia S4 ao traço 1:4 com substituição de 10% de massa de cal por resíduo cerâmico 1	21/1/2013 Madeira (a aguardar marcação de provas)		
NHL_1:4S4_10R2_A	Argamassa de cal hidráulica natural NHL3.5 e areia S4 ao traço 1:4 com substituição de 10% de massa de cal			

6

Designação dos provetes	Descrição	Data de amassadura	Dimensões dos provetes	Grupo
	por resíduo cerâmico 2.			
NHL_1:4S4_25R1_A	Argamassa de cal hidráulica natural NHL3.5 e areia S4 ao traço 1:4 com substituição de 25% de massa de cal por resíduo cerâmico 1.			
NHL_1:4S4_25R2_A	Argamassa de cal hidráulica ao traço 1:4 com substituição de 25% de massa de cal por igual quantidade de resíduo cerâmico 2.			
C_1:4S5_D	Argamassa de cimento e areia S5 ao traço volumétrico 1:4.			
C+CL_1:1:6S5_D	Argamassa bastarda de cimento, cal aérea e areia S5 ao traço volumétrico 1:1:6.	Faria (2004)		7
C+CL_1:3:12S5_D	Argamassa bastarda de cimento, cal aérea e areia S5 ao traço volumétrico 1:3:12.			
CL_1:2S5_D	Argamassa de cal aérea e areia S5 ao traço volumétrico 1:2.			

Nota: traços sempre volumétricos. Terras: TA - terra A; TB - terra B; TC - terra C; TD - terra D; TE - terra E; TP - terra padrão; TAV - terra de Avis; TPD - terra de Pá Danado; TVC - terra de Val Chaim. Areias: S1 - areia siliciosa com argila; S2 - areia siliciosa lavada; S3 - areia lavada; S4 - mistura de três areias siliciosas, lavadas e graduadas (APAS12, APAS20, APAS30); S5 - areia siliciosa de rio corrente. Fibras: FA - fibra de casca de arroz; FC - fibra de crina de cavalo; FH - fibra de cânhamo; FO - fibra de lã de ovelha; FT - fibra de palha cortada. Pozolanas e fileres: Mk - metacaulino; RC1 - resíduo cerâmico 1; RC2 - Resíduo cerâmico 2. Curas: A - cura com aspensão; D - cura seca; H - cura húmida; HD - cura húmida seguida de seca; L - cura em laboratório; ST - cura standard.

Na campanha experimental do presente trabalho efectuou-se o ensaio de determinação da capacidade de amortecimento de humidade, Nordtest Method, das diversas argamassas. Tal como referido em 2.3, este método de ensaio baseia-se no registo da variação de massa ocorrida quando o material em ensaio se encontra em ciclos que variam entre 33% e 75% de HR.

3.4.1. Procedimento específico

Este ensaio, de determinação da capacidade de amortecimento de humidade de diversos materiais, pretende simular as condições diárias que seriam observadas em ambientes interiores. Em seguida referem-se alguns aspectos relevantes relacionados com o procedimento e os materiais utilizados, sendo que o procedimento foi descrito na totalidade no capítulo 2.3.

- Os provetes foram parcialmente selados, deixando apenas uma superfície exposta. Nos provetes com forma cubica ou paralelepipedica cinco das seis faces exteriores foram seladas com película aderente de polietileno, para garantir que a absorção de humidade se dava apenas pela face exposta. Nos provetes cilindricos foi, igualmente, deixada apenas uma das faces circulares exposta. Os provetes do Grupo 2 encontravam-se já selados com parafina e cera de abelha.
- Quanto às recomendações do ensaio relativas às dimensões dos provetes, não foi possível utilizar as dimensões adequadas, visto que os provetes não foram propositadamente elaborados para o

ensaio, mas sim reaproveitados de outros estudos previamente realizados. Os provetes de tijolo com camada de argamassa de 2 cm são os únicos que respeitam as dimensões.

- A espessura dos provetes adoptada pretende ser semelhante à que se deseja utilizar em casos reais de rebocos interiores. A maioria dos provetes foram limados para apresentar espessura na ordem dos 2 cm, à excepção dos provetes do Grupo 2, que tinham 5 cm de espessura e que não se pretendeu destruir, e dos provetes do Grupo 4 provenientes do ensaio de sulfatos, que estavam demasiado frágeis para que se conseguisse limar sem os desfazer. As dimensões exactas de cada provete são apresentadas no capítulo 4.
- Foram utilizados três provetes de cada argamassa (à excepção da argamassa TB_1:1_Cortiça, do grupo 1, visto que um dos provetes se partiu antes da desmoldagem).
- Antes do ensaio começar os provetes foram colocados numa câmara climática a 23°C e 50% HR até que a massa dos provetes estabilizasse, de acordo com as indicações do protocolo.
- Em seguida, os provetes foram mantidos na câmara climática, à mesma temperatura, mas agora sujeitos a ciclos de humidades distintas sucessivos: 16 horas a 33% HR seguidos de 8 horas a 75% HR.
- A massa dos provetes foi determinada, através de balança com precisão de 0,001g, na mudança entre cada ciclo e cinco vezes durante o ciclo de elevada HR. Para tal os provetes eram removidos da câmara durante o menor período de tempo possível e tapados, de forma a minimizar o contacto com condições de temperatura e humidade diferentes das do interior da câmara. Ao abrir a câmara teve-se sempre o cuidado de o fazer da forma mais rápida possível.
- A exposição aos ciclos manteve-se até que a diferença de massa entre os últimos três ciclos fosse inferior a 5% e a diferença entre o ganho e perda de massa em cada ciclo fosse, também, inferior a 5%.

Em seguida, apresentam-se imagens dos provetes de argamassa preparados para o ensaio nas figuras 3.4 a 3.9.



Figura 3.4 –Provetes de argamassa do grupo 1.



Figura 3.5 – Provetes de argamassa do grupo 2.



Figura 3.6 – Provetes de argamassa do grupo 3.



Figura 3.7 – Provetes de argamassa do grupo 4.



Figura 3.8 – Provetes de argamassa do grupo 5.



Figura 3.9 – Provetes de argamassa do grupo 6.

3.4.2 Equipamento utilizado

Para este ensaio utilizaram-se duas câmaras climáticas (Aralab Fitoclima 300 EDTU e Aralab Climatest 300 ST1), para a manutenção da HR ambiente e da temperatura nos valores desejados, e uma balança analítica com precisão de 0,001g, para obter a massa dos provetes. Nas figuras 3.10 e 3.11 apresentam-se imagens dos equipamentos utilizados.



Figura 3.10– Câmara climática Fitoclima 300 EDTU.



Figura 3.11 – Balança analítica.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se os resultados de variação do teor de humidade obtidos ao longo do ensaio, os valores de captação de humidade para cada ciclo e os valores de MBV de cada argamassa.

4.1. Resultados das argamassas do Grupo 1

Neste subcapítulo apresentam-se os dados e resultados referentes aos provetes das argamassas do Grupo 1: argamassa de terras distintas sem ou com estabilização física pela mistura com areias, com ou sem adição de fibras de trigo. Apresentam-se ainda os resultados dos provetes constituídos por uma argamassa de base revestida por argamassa de acabamento fina. Tal como referido, todas estas argamassas foram elaboradas no Seminário e Curso de Especialização em Rebocos de Terra, e preparadas pela autora deste trabalho em provetes cilíndricos com diâmetro e altura aproximados de 6 cm e 2cm, respectivamente.

Apresentam-se então as dimensões, massas e áreas de exposição de todos os provetes ensaiados no quadro 4.1, seguidos dos gráficos com os resultados referentes ao ensaio de higroscopicidade, incluindo gráficos de variação do teor de água (média dos 3 provetes de cada argamassa) captação de humidade em cada ciclo (média dos 3 provetes de cada argamassa), e os valores de MBV obtidos.

Em seguida apresentam-se, nas figuras 4.1 a 4.5, os gráficos de variação do teor de água dos provetes ao longo do ensaio, ou seja, com os ciclos de HR de 8 horas a 75% e 16horas a 33%. Após cada figura é feita uma análise do avanço das curvas, para cada argamassa, com especial atenção à tendência de evolução da massa dos provetes.

Esta análise é feita porque, segundo Rode et al. (2005), observa-se, neste ensaio, uma tendência de aumento de massa dos provetes devido à alteração das condições climáticas médias após a ocorrência de alguns ciclos. Este aumento de massa poderá estar acompanhado de um armazenamento de algum teor de humidade no interior dos provetes, o que explicaria o aumento de massa em si, mas que poderá causar uma tendência de diminuição na capacidade de captação de humidade dos provetes, o que, por seu lado, poria em causa o desempenho das argamassas.

Por análise da figura 4.1 observa-se que para as argamassas TB_1:3S1_L, TB_1:2S2_L e TB_1:3S2_L existe um aumento ligeiro de massa dos provetes com o avançar dos ciclos.

Para as restantes argamassas desta figura a massa dos provetes parece manter-se constante.

É bastante perceptível que a captação de humidade da argamassa com terra TA é inferior aos valores de captação de humidade das argamassas com terra TB.

Quadro 4.1 - Dimensões, massas e área de exposição dos provetes do Grupo 1.

Argamassa	Dimensões (mm)				Área de exposição (mm ²)		Massa no equilíbrio (g)	
	R (média)	DP	H (média)	DP	Média	DP	Média	DP
TA_1:3S1_L	34,48	0,19	21,50	0,25	3735,20	40,20	149,68	3,90
TB_1:3S1_L	33,86	0,57	21,14	0,17	3601,62	119,90	138,33	2,51
TB_1:2S2_L	34,32	0,18	21,69	0,76	3700,43	39,57	136,53	2,73
TB_1:3S2_L	34,45	0,12	22,72	0,14	3728,84	26,71	140,06	13,25
TB_1:4S2_L	34,57	0,10	22,32	0,25	3754,13	22,35	140,45	4,36
TB_1:1Cortiça_L	30,43	0,38	18,51	0,11	2909,30	73,01	54,88	1,16
TB_1:2S2_10CL_L	Partiram-se na desmoldagem							
TB_1:2S2_5NHL_L	33,96	0,21	21,20	0,52	3623,05	43,82	129,35	3,33
TC_1:2S2_L	34,48	0,17	23,10	0,47	3735,01	37,39	159,28	3,57
TC_1:3S2_L	34,61	0,02	22,35	0,73	3764,07	3,32	144,69	3,16
TE_1:3S1_L	34,13	0,09	21,81	1,34	3659,70	18,60	145,88	8,66
TE_1:2S2_L	34,07	0,08	22,19	0,52	3647,20	17,63	152,01	0,88
TE_1:3S2_L	34,58	0,11	21,81	0,29	3757,57	24,29	148,95	1,29
TE_1:2S2+TE_1:1,5sf_L	34,27	0,05	23,48	0,80	3689,77	10,28	167,42	4,22
TE_1:3S2+TE_1:2sf_L	34,17	0,42	23,32	0,87	3669,00	90,39	152,93	6,93
PreDos_L	34,30	0,17	21,88	0,35	3695,21	36,29	150,01	2,85
TB_1:1S1/S2_20FT_L	33,53	0,25	21,04	1,11	3532,63	52,46	133,09	4,44
TB_1:3S1/S2_20FT_L	34,18	0,16	21,41	0,73	3670,64	33,29	132,47	1,72
TB_1:3S1/S2_40FT_L	34,22	0,10	21,71	1,16	3678,49	20,61	129,37	1,06
TB_40FT_L	32,19	0,23	20,43	0,47	3255,08	47,54	94,68	1,47
TB_60FT_L	32,72	0,49	20,25	1,18	3364,22	99,55	85,17	1,07
TB_80FT_L	32,74	0,41	20,25	0,57	3367,50	83,83	76,90	1,72
TB_100FT_L	33,24	0,03	20,75	0,98	3471,31	6,82	78,91	0,45
TC_1:1S1/S2_20FT_L	33,20	0,39	19,50	0,88	3463,45	80,39	113,81	12,02
TC_1:3S1/S2_40FT_L	34,48	0,08	21,62	0,91	3734,96	16,35	132,94	2,55
TC_40FT_L	32,27	0,19	20,47	0,36	3271,92	39,34	96,38	3,31
TC_60FT_L	32,78	0,25	20,22	0,35	3376,21	52,35	90,17	2,30
TC_80FT_L	32,54	0,18	19,28	0,66	3326,55	36,95	82,00	1,45
TC_100FT_L	33,20	0,22	20,20	0,72	3462,37	45,63	71,31	1,36
TC_120FT_L	32,90	0,49	17,87	0,53	3401,00	101,93	64,52	1,70

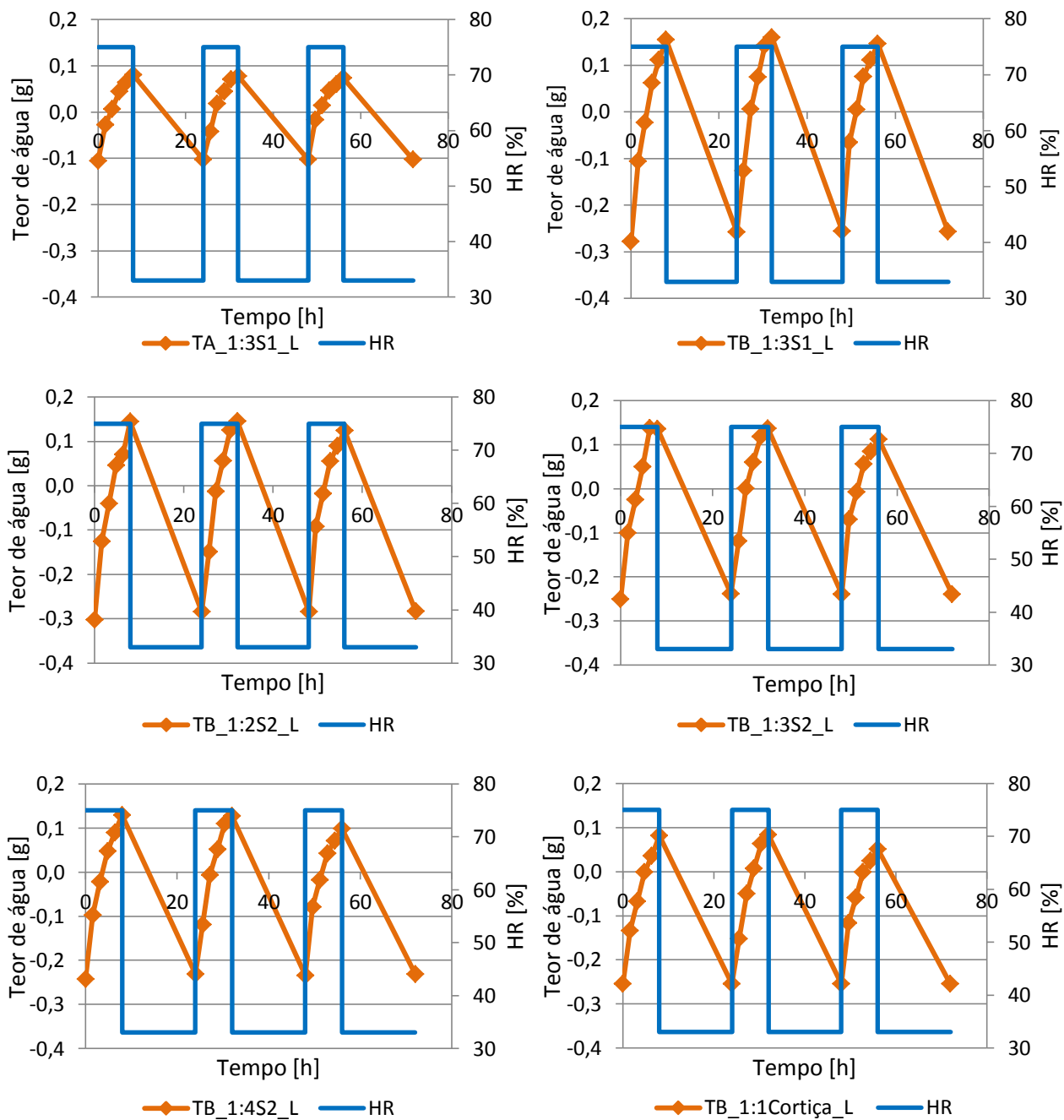


Figura 4.1 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas TA_1:3S1_L, TB_1:3S1_L, TB_1:2S2_L, TB_1:3S2_L, TB_1:4S2_L e TB_1:1Cortiça_L com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.

Por análise da figura 4.2 verifica-se para todas as argamassas, excepto a TE_1:3S2_L, uma tendência de aumento da massa dos provetes, uma vez que se regista um aumento de massa nos provetes com o avançar do tempo.

É também possível observar que a argamassa com terra TB é a que apresenta maior captação de humidade.

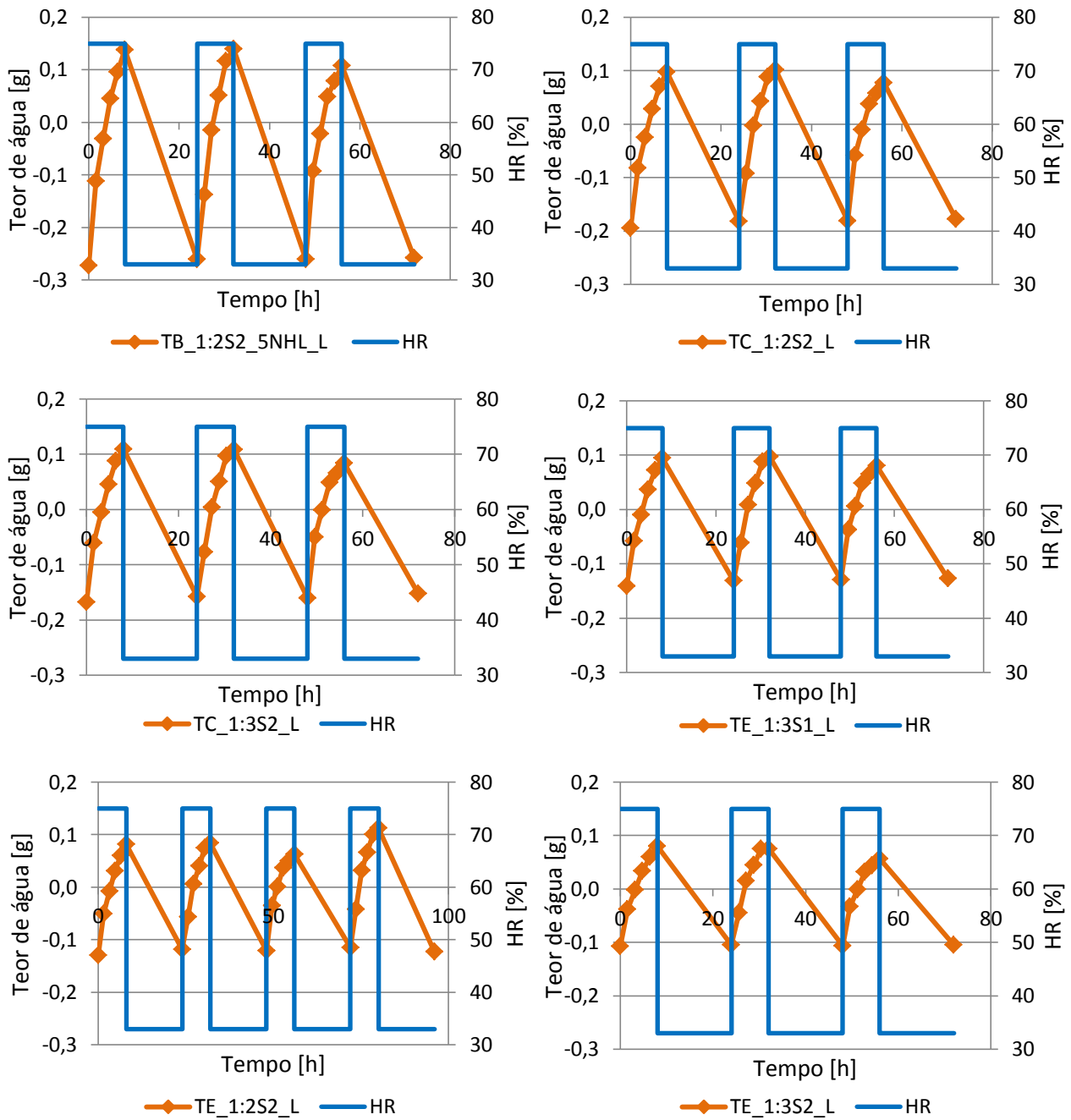


Figura 4.2 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas TB_1:2S2_5NHL_L, TC_1:2S2_L, TC_1:3S2_L, TE_1:3S1_L, TE_1:2S2_L e TE_1:3S2_L com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.

Na figura 4.3 observa-se que para as argamassas TE_1:2S2+TE_1:1,5sf_L, TE_1:3S2+TE_1:2sf_L e PreDos_L se verifica a tendência de aumento de massa, enquanto nas restantes a massa se mantém constante.

Tal como nas figuras anteriores é possível observar que são as argamassas com terra TB que apresentam maior captação de humidade.

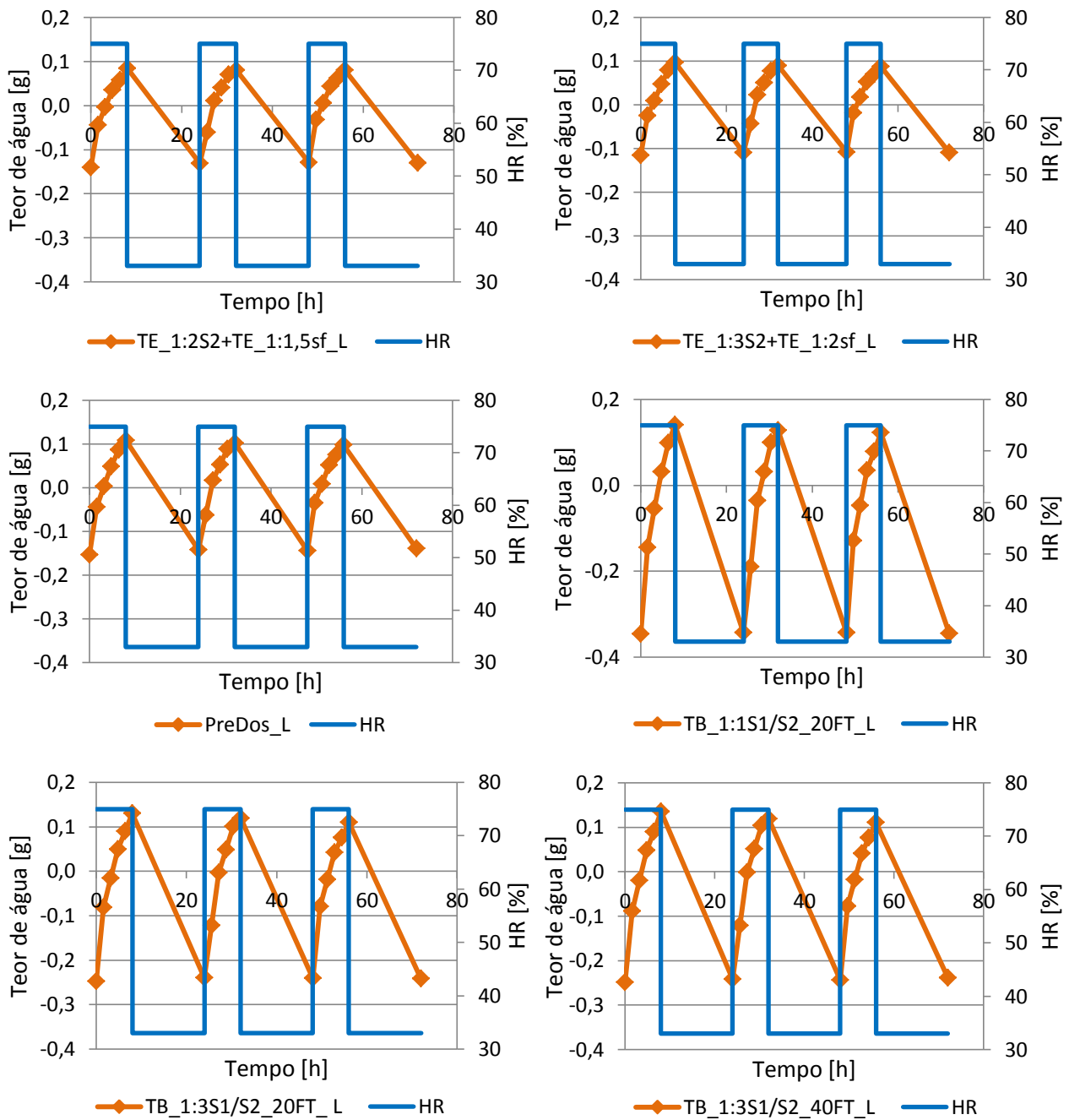


Figura 4.3 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas TE_1:2S2+TE_1:1,5sf_L, TE_1:3S2+TE_1:2sf_L, PreDos_L, TB_1:1S1/S2_20FT_L, TB_1:3S1/S2_20FT_L e TB_1:3S1/S2_40FT_L com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.

Por observação da figura 4.4 verifica-se a tendência de aumento de massa ligeiro nos provetes de todas as argamassas excepto as TB_40FT_L e TB_60FT_L.

Novamente são as argamassas com terra TB as que apresentam maior captação de humidade.

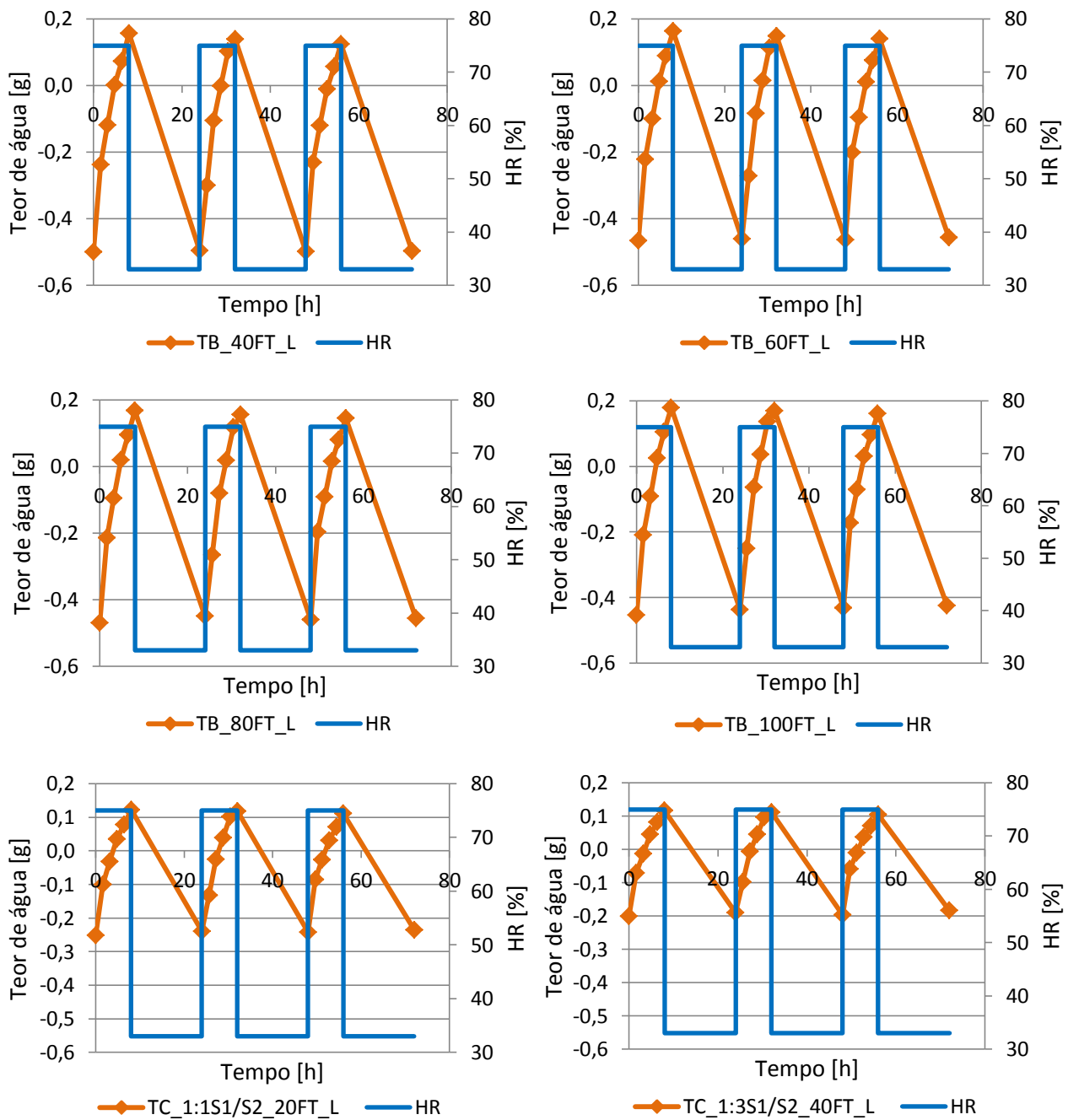


Figura 4.4 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas TB_40FT_L, TB_60FT_L, TB_80FT_L, TB_100FT_L, TC_1:1S1/S2_20FT_L e TC_1:3S1/S2_40FT_L com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.

Na figura 4.5 pode observar-se que só para as argamassas TC_80FT_L, TC_100FT_L e TC_120FT_L se verifica a tendência de aumento de massa dos provetes.

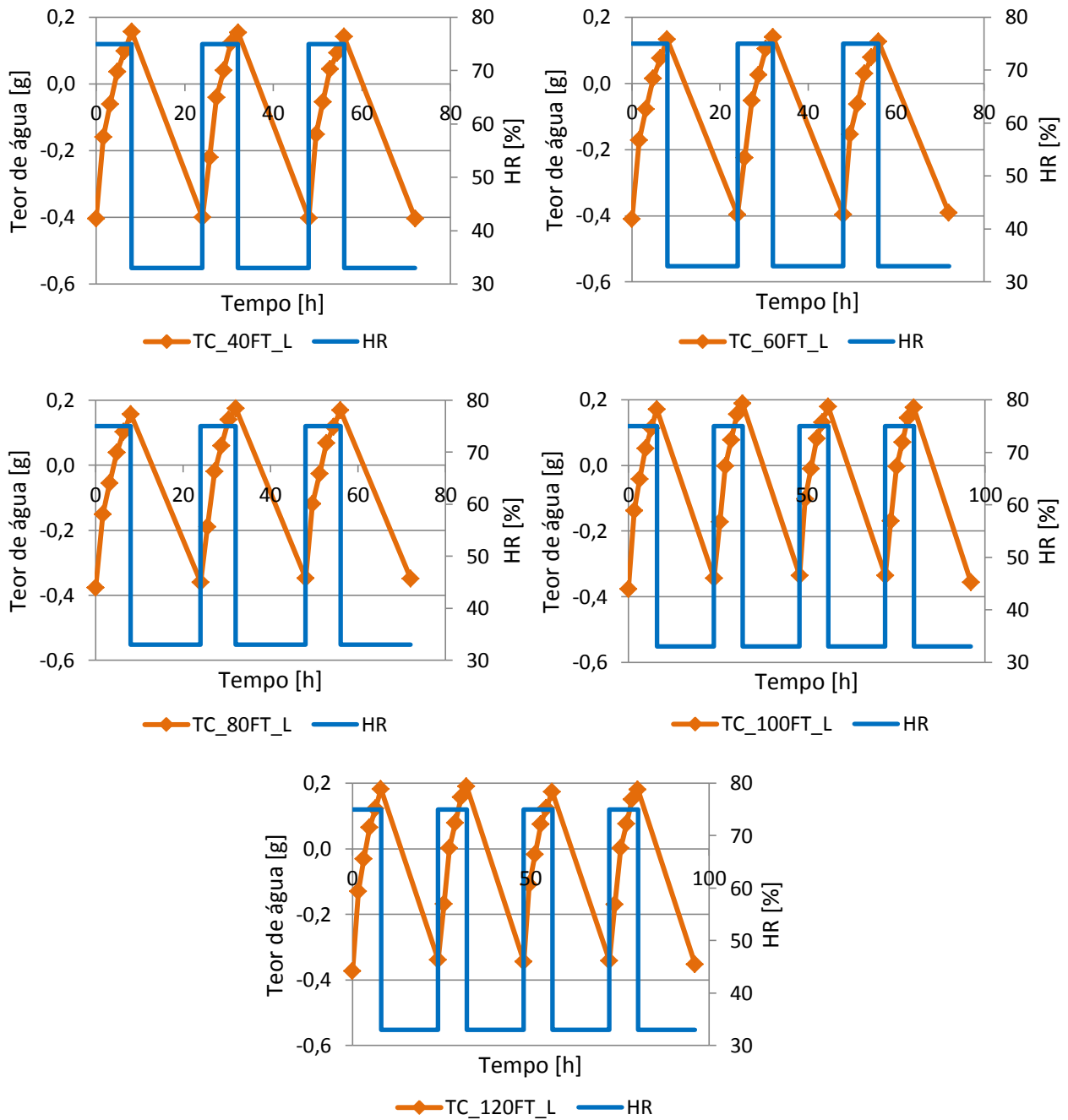


Figura 4.5 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas TC_40FT_L, TC_60FT_L, TC_80FT_L, TC_100FT_L e TC_120FT_L com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.

Na figura 4.6 apresentam-se os valores da captação de humidade para cada argamassa e cada ciclo, de acordo com a figura 2.4.

É possível observar em todas as argamassas uma tendência de diminuição da captação de humidade até ao terceiro ciclo. Na argamassa TE_1:2S2_L, que foi a única em que foi necessário efectuar quatro ciclos para atingir os ciclos estáveis necessários, verifica-se uma tendência de subida da captação de humidade no quarto ciclo.

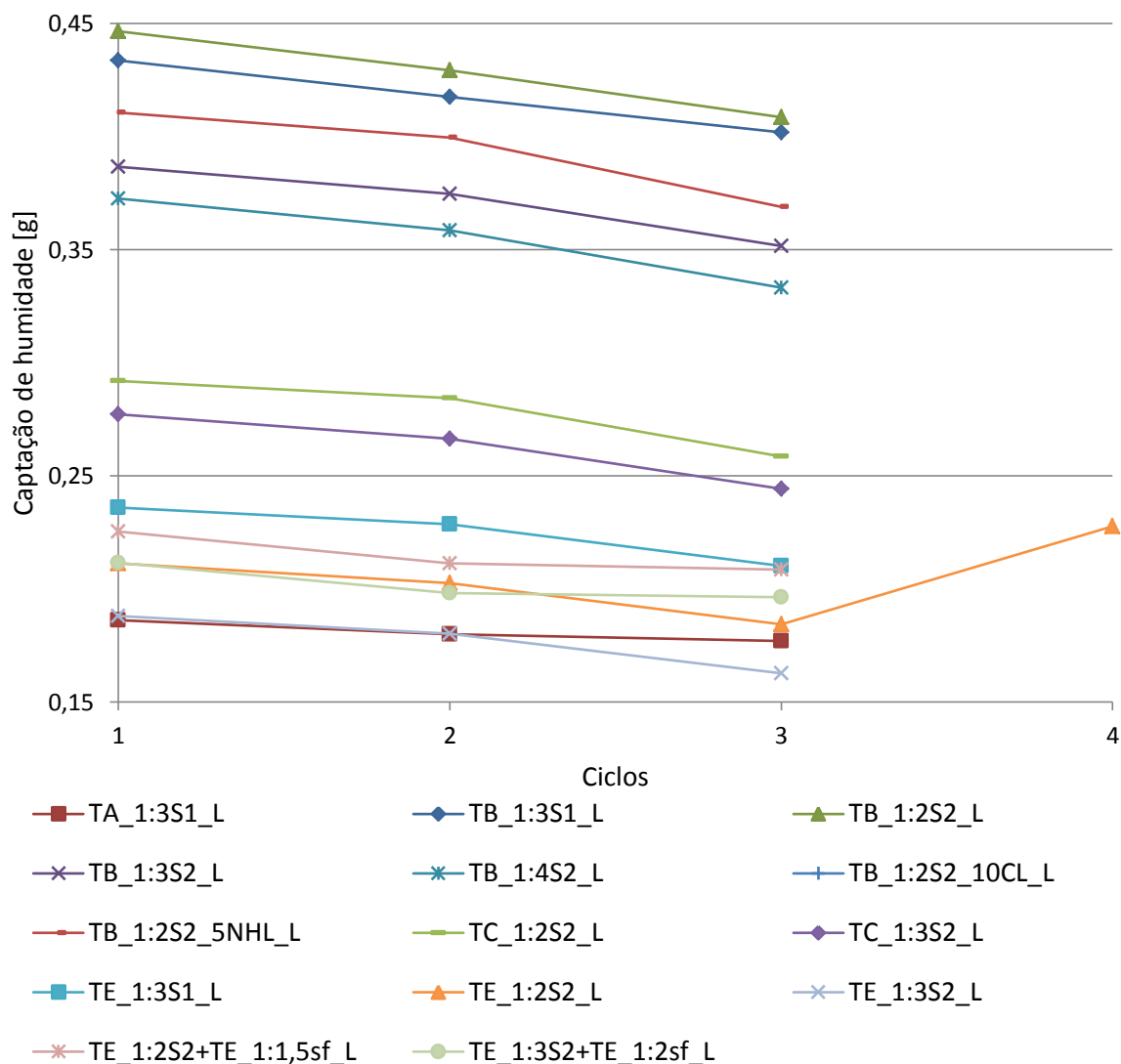


Figura 4.6 - Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas sem fibras do Grupo 1.

Analisando em conjunto a tendência de diminuição da captação de humidade, na figura 4.6, e a tendência de aumento de massa em algumas das argamassas, verifica-se que se poderá estar perante um efeito histerético, que a longo prazo, poderá levar a uma diminuição da capacidade de armazenamento de HR das argamassas; no entanto, o facto de não se terem efectuado mais ciclos torna difícil perceber qual será a tendência de evolução a longo prazo destes dois parâmetros, que influenciam efectivamente os valores de MBV das argamassas.

Tal como na figura 4.6 também na 4.7 é possível observar uma tendência generalizada de diminuição da captação de humidade, neste caso, do primeiro para o segundo ciclo; no entanto os valores parecem não diminuir tanto do segundo para o terceiro ciclo, o que poderá indicar que estão a estabilizar. Nas argamassas TC_100F_L e TC_120FT_L, para as quais se efectuou mais um ciclo, os valores parecem de facto começar a estabilizar do terceiro para o quarto ciclo. A argamassa TB_1:1Cortiça_L é a única para a qual se verifica um aumento de massa no segundo ciclo, no entanto no terceiro ocorre uma diminuição.

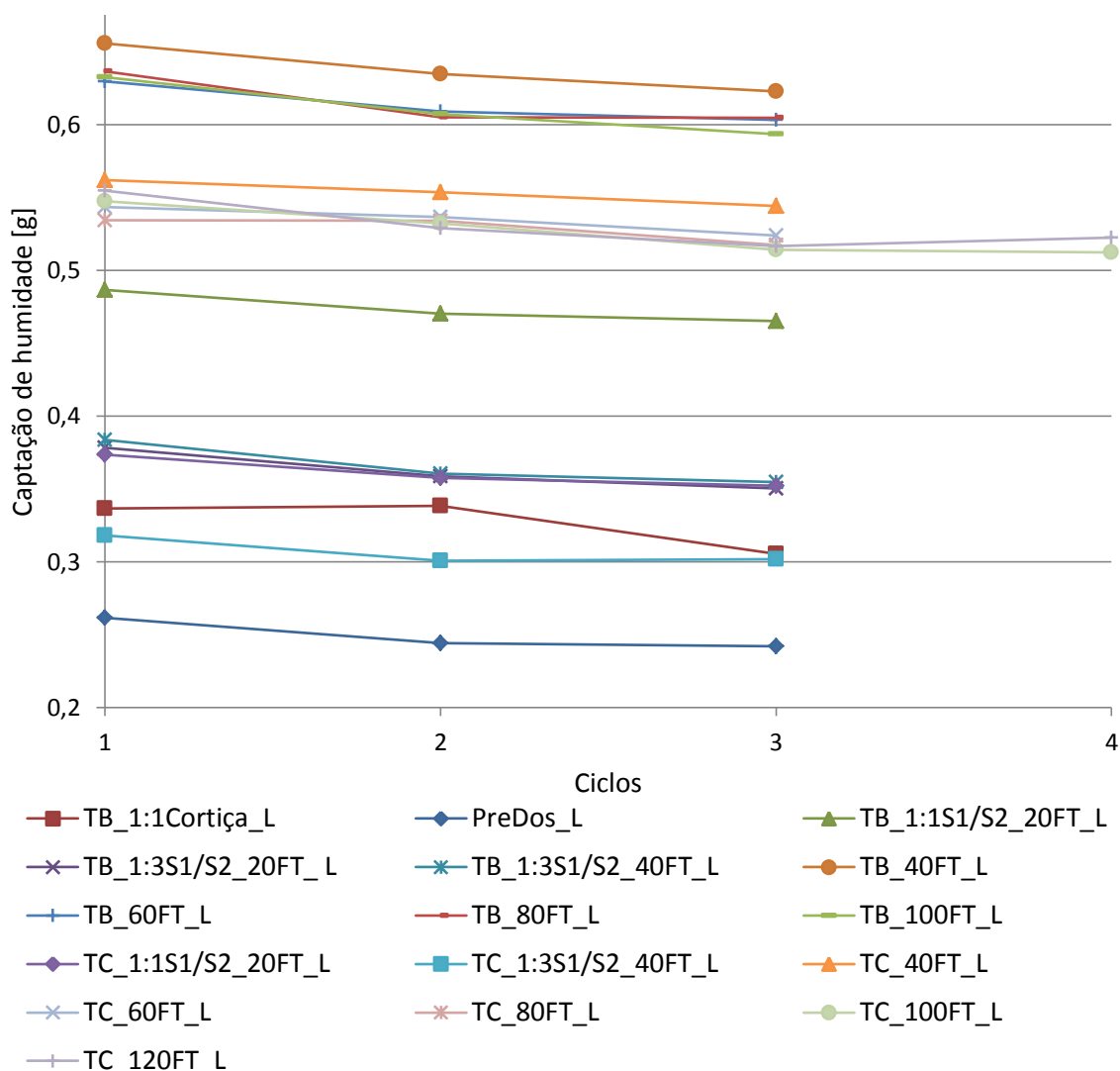


Figura 4.7 - Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas com elementos vegetais (fibras e cortiça) do Grupo 1.

As argamassas pré doseada e de terra TA da figura 4.8 são as únicas ensaiadas com o seu tipo de terra pelo que não é possível efectuar comparação com outros traços. Interessa então referir que tanto a argamassa PreDos_L como a TA_1:3S1_L apresentam um MBV que as coloca na classifica com bom, sendo que a PreDos_L apresenta um valor de MBV mais elevado, ou seja, uma capacidade de amortecimento da HR ambiente mais elevada.

Na figura 4.8 apresentam-se também os valores de MBV para as argamassas com terra TB. Pela análise da figura é possível retirar as seguintes conclusões:

- Relativamente às diferentes areias S1 e S2 utilizadas - Comparando a argamassa TB_1:3S1_L com a TB_1:3S2_L, que têm o mesmo traço e a mesma terra, diferindo apenas no tipo de areia, verifica-se que a argamassa com a areia S1 apresenta um MBV superior à argamassa com a areia S2. Recordar-se que a areia S1 difere da S2 pelo facto da S2 conter algum teor de argila (visto que se trata de areia não lavada). Apesar de ambas as argamassas se classificarem na classe do excelente, o facto de a areia S1 promover o aumento do MBV indica que esta areia será mais adequada quando se pretende amplificar a capacidade de amortecimento de HR das argamassas.

- Relativamente aos traços volumétricos das argamassas - Para esta análise importa comparar as argamassas TB com areia S2 que existem com os traços 1:2, 1:3 e 1:4. Verifica-se que a argamassa com maior MBV é a de traço 1:2 e que, com o aumento da parcela de areia, o MBV sofre um decréscimo. Embora este decréscimo não seja, no entanto, significativo, visto que as argamassas se mantêm na classe do excelente, os traços com menor quantidade de agregado indiciam (pelo menos nesta caso da areia S2) ser mais benéficos para a optimização do MBV.

- Relativamente à adição de um ligante hidráulico - A argamassa TB_1:2S2_5NHL_L contém uma adição de cal hidráulica natural correspondente a de 5% do volume de terra; comparando esta argamassa com a argamassa equivalente mas sem ligante, TB_1:2S2_L, verifica-se que ambas as argamassas se encontram na classe do excelente; no entanto, a adição desta pequena percentagem de ligante provoca uma ligeira diminuição do MBV.

- Relativamente à introdução de granulado de cortiça - A argamassa TB_1:1Cortiça_L apresenta um MBV superior a 2 g/(m².%HR) o que a coloca na classe do excelente, tal como as restantes argamassas com terra TB. No entanto não é possível efectuar uma comparação directa com uma argamassa de terra TB de traço 1:1 ou 1:0 (de terra e areia ou só de terra, sem cortiça) pelo que não é possível afirmar se a introdução do granulado de cortiça promove uma melhoria no comportamento higroscópico das argamassas, apesar de não parecer prejudicar o comportamento.

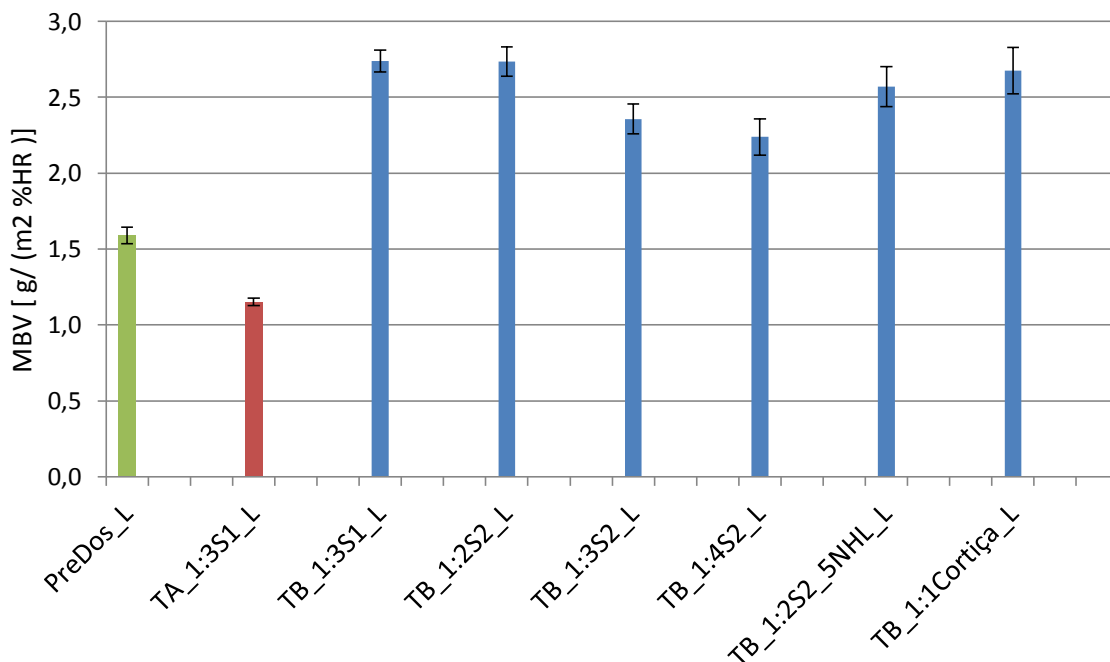


Figura 4.8 - Valores de MBV para as argamassas PreDos_L e de terra TA e TB do Grupo 1.

Pela análise da figura 4.9, que contém os valores de MBV das argamassas de terra TC e TE, é possível verificar que nas argamassas com terra TC o aumento da parcela de agregado, no caso a areia S2, promove uma ligeira diminuição no MBV. Esta diminuição é no entanto ligeira e ambas as argamassas se incluem na classe do bom.

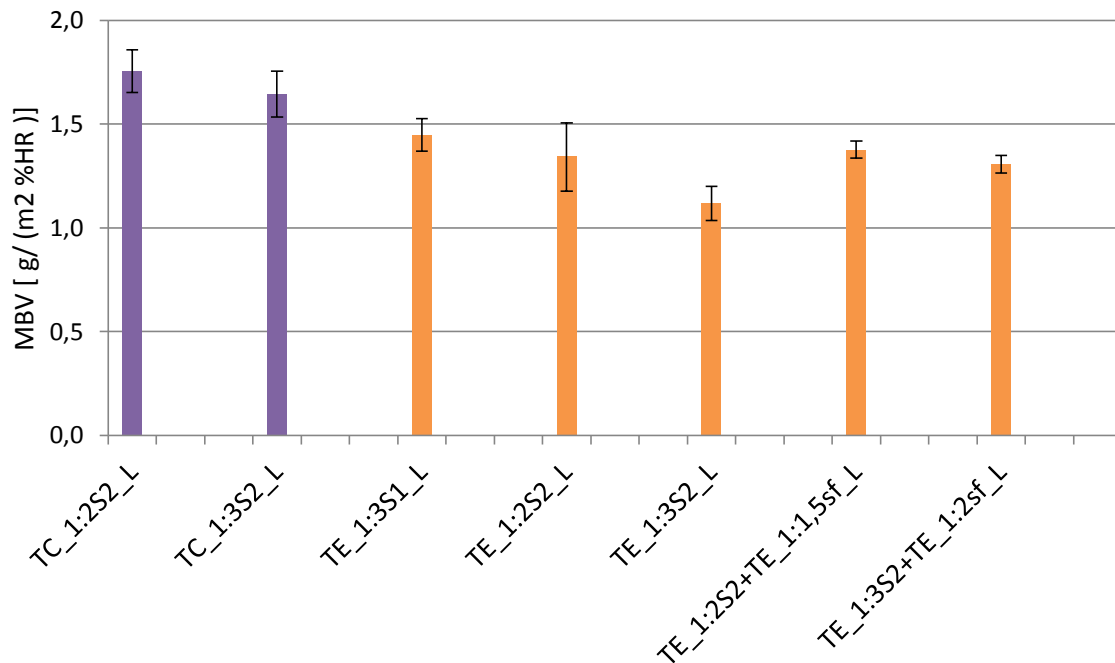


Figura 4.9 - Valores de MBV para as argamassas de terra TC e TE do Grupo 1.

Pela análise das argamassas com terra TE presentes nesta figura verifica-se que:

- Em relação às diferentes areias - A argamassa TE_1:3S1_L apresenta um MBV superior à argamassa TE_1:3S2_L, mas ambas se classificam na classe do bom; tendo em conta que a única diferença entre estas argamassas é a areia utilizada constata-se que a areia S1 parece ser melhor para a optimização do MBV.

- Sobre os traços - Comparando as argamassas de terra TE e areia S2 que foram analisadas verifica-se que a argamassa de traço 1:2 apresenta um valor de MBV superior à de traço 1:3, ou seja, o aumento da parcela de agregado S2 promove uma diminuição do MBV. Apesar da diminuição do MBV na argamassa de traço 1:3, a sua classificação mantém-se na classe do bom, juntamente com a argamassa de traço 1:2.

- Relativamente à aplicação de camada de acabamento - As argamassas TE_1:2S2+TE_1:1,5sf_L e TE_1:3S2+TE_1:2sf_L são constituídas, respectivamente, pelas argamassas TE_1:2S2_L e TE_1:3S2_L e por uma fina camada de acabamento. Comparando estas argamassas com as TE_1:2S2_L e TE_1:3S2_L, que não contem a camada de acabamento, verifica-se que existe um aumento, pouco acentuado, do MBV quando se aplica a camada de acabamento. A diferença de espessura das argamassas sem e com camada de acabamento é na ordem de 1 ou 2 mm, o aumento de espessura poderá causar o aumento do MBV.

Pela análise da figura 4.10 é possível efectuar uma comparação entre argamassas com o mesmo traço e areia mas com diferentes tipos de terra; desta forma é possível averiguar qual das terras apresenta melhores características em termos de higroscopicidade e, conseqüentemente, é capaz de optimizar o MBV das argamassas. Em seguida descrevem-se as comparações possíveis e as conclusões obtidas.

- Argamassas de traço 1:3, areia S1 e terras TA, TB ou TE: Verifica-se que a argamassa com terra TB apresenta um valor de MBV bastante superior às restantes, que se incluem na classe do bom, colocando-a na classe do excelente. Desta forma entre estas três terras analisadas, a que proporciona melhor comportamento às argamassas é a TB seguida da TE e da TA.

- Argamassas de traço 1:2, areia S2 e terras TB, TC ou TE: Neste caso a terra TB continua a apresentar os melhores resultados, classificando-se na classe do excelente, e é seguida pela terra TC e TE, ambas na classe do bom.

- Argamassas de traço 1:3, areia S2 e terras TB, TC ou TE: Neste caso a terra TB apresenta novamente o valor de MBV mais elevado, na classe do excelente, seguida da terra TC e TE com classificação de bom.

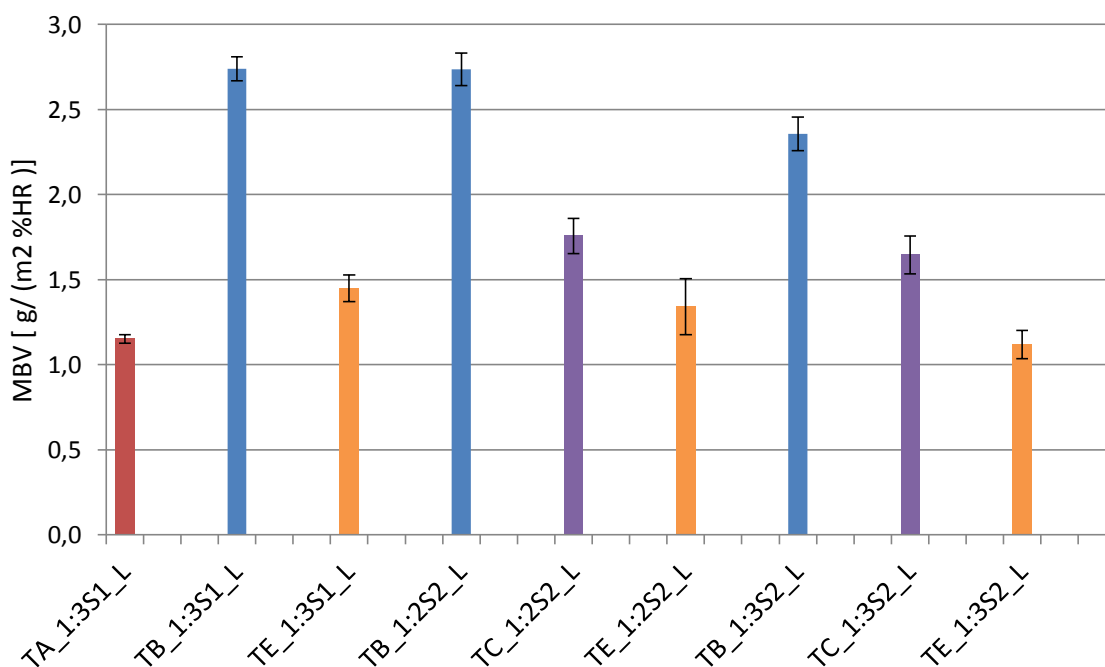


Figura 4.10 - Valores de MBV para as argamassas de traço 1:3 e areia S1 do Grupo 1.

Conciliando as diferentes análises verifica-se que foi a terra TB que apresentou sistematicamente os melhores valores de MBV. As restantes terras podem ser colocadas por ordem crescente de capacidade de regulação da HR ambiente da seguinte forma: TA <TE <TC.

Na figura 4.11 apresentam-se os valores de MBV para as argamassas do Grupo 1 que contêm terra e fibras (palha de trigo cortada). Nestas argamassas não foi possível apurar qual a areia utilizada, S1 ou S2, e então não é possível efectuar comparações com argamassas padrão, sem fibras.

Todas as argamassas presentes nesta figura (Fig.4.11) encontram-se na classe do excelente à excepção da TC_1:3S1/S2_40FT, que se insere na classe do bom, uma vez que contem MBV inferior a 2 g/(m².%HR). Comparando a argamassa TB_1:1S1/S2_20FT_L com a TB_1:3S1/S2_20FT_L verifica-se que a argamassa com menor quantidade de areia, logo maior de terra, ou seja a de traço 1:1, é a que apresenta um valor de MBV mais elevado. Analisando as diferentes percentagens de fibras nas argamassas de terra TB e traço 1:3 verifica-se um aumento muito ligeiro quando se passa de 20% para 40% de FT.

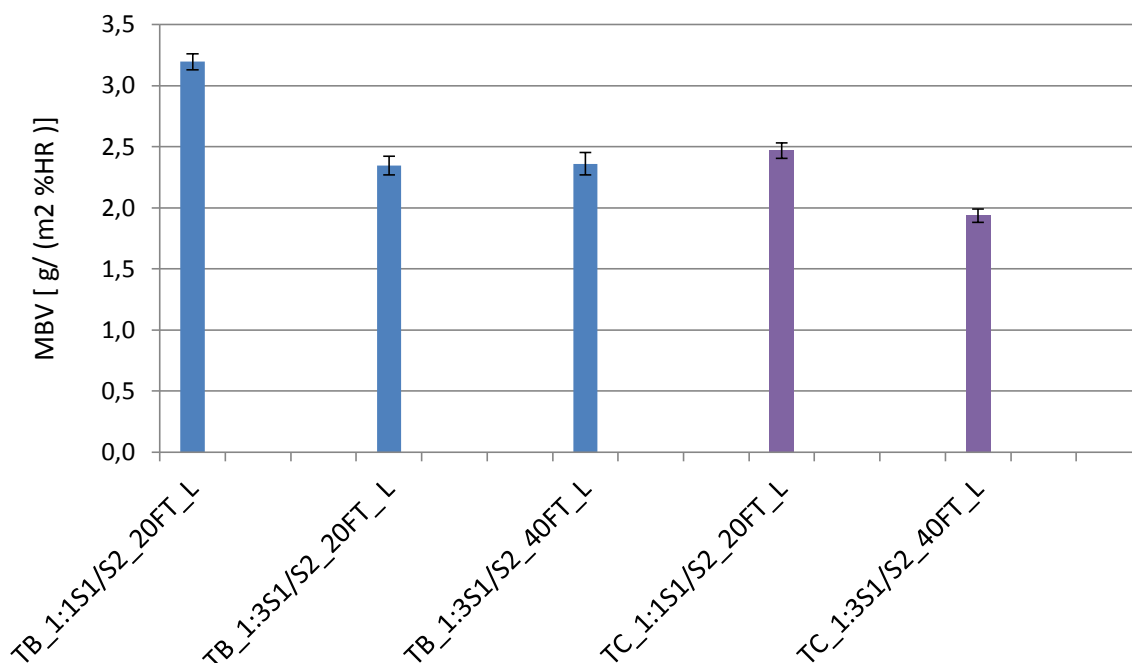


Figura 4.11 - Valores de MBV para as argamassas de terra, areia e fibras do Grupo 1.

É também possível comparar as argamassas TB_1:1S1/S2_20FT com a TC_1:1S1/S2_20FT e a TB_1:3S1/S2_40FT com a TC_1:3S1/S2_40FT, uma vez que ambos os pares possuem o mesmo traço e quantidade de fibras, diferindo apenas no tipo de terra. Verifica-se que, para ambos os pares, as argamassas com terra TB apresentam um MBV mais elevado que as com terra C, o que reforça o bom comportamento higroscópico, já antes indiciado, da terra B.

Na figura 4.12 apresentam-se os valores de MBV para as argamassas deste grupo que são constituídas por fibras, em várias percentagens, e diferentes tipos de terra.

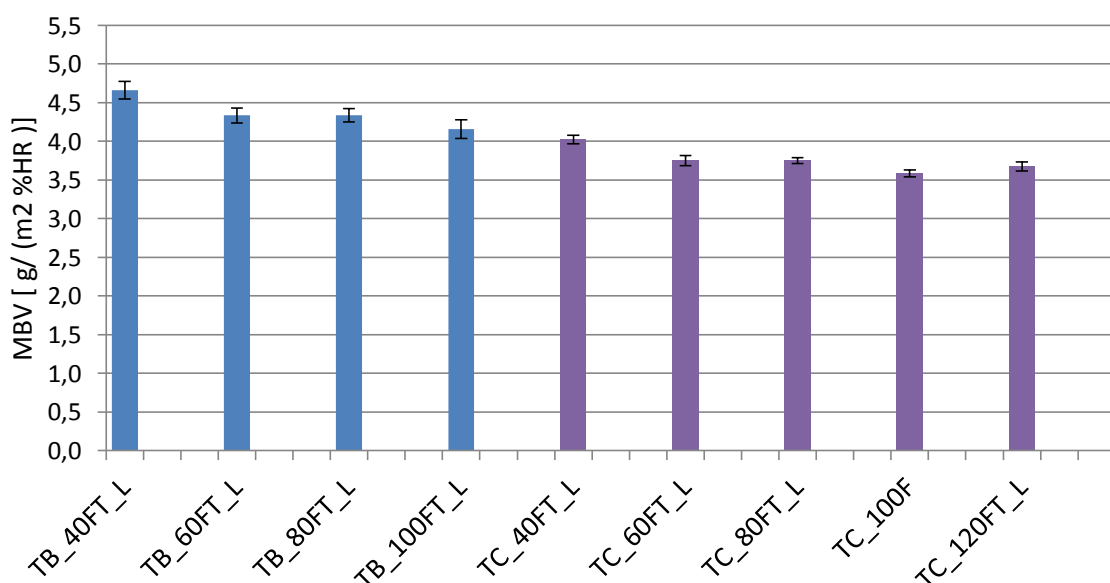


Figura 4.12 - Valores de MBV para as argamassas de terra e fibras do Grupo 1.

Pela análise desta figura (Fig.4.12) verifica-se que:

- Todas as argamassas apresentam valores de MBV bastante altos, sempre superiores a 2 g/(m².%HR), o que as classifica como excelentes.
- As argamassas com terra TB apresentam MBV sempre superior às argamassas com terra TC.
- Tanto para as argamassas com terra TB como para as com terra TC verifica-se que a adição de terra na percentagem de 40% parece ser a mais benéfica para a capacidade de amortecimento da HR ambiente, visto que, para adições com percentagens superiores, regista-se uma diminuição no MBV.

4.2. Resultados das argamassas do Grupo 2

Neste grupo inserem-se argamassas de terra provenientes dos trabalhos de Gomes et al. (2012a, 2012b).

Quadro 4.2 – Dimensões, massas e área de exposição dos provetes do Grupo 2.

Argamassa	Dimensões (mm)						Área de exposição (mm ²)		Massa no equilíbrio (g)	
	L1		L2		H		Média	DP	Média	DP
	Média	DP	Média	DP	Média	DP				
TP_1:3S3_HD	49,36	0,37	49,79	0,66	47,30	0,55	2457,85	22,36	190,5653	6,00
TP_1:3S3+5F_HD	49,78	1,04	50,40	1,01	47,26	0,83	2509,42	102,37	177,7563	4,98
TP_1:3S3_5CL_HD	49,77	0,11	49,85	0,61	47,45	0,15	2481,39	34,23	188,123	1,82
TP_1:3S3_10CL_HD	49,36	0,09	50,26	0,47	49,41	0,04	2480,52	26,69	189,0693	2,41
TP_1:3S3_15CL_HD	49,70	0,13	49,42	0,47	47,44	0,21	2456,38	29,40	187,6613	2,23
TP_1:3S3_5CL+5F_HD	50,15	0,33	49,64	0,20	48,26	0,23	2489,82	25,95	179,837	1,17
TP_1:3S3_10CL+5F_HD	49,85	0,63	49,82	0,90	47,72	0,57	2483,82	71,75	182,3357	1,39
TAV_HD	51,44	0,30	51,61	0,30	50,15	0,40	2655,10	3,32	238,0143	2,31
TPD_1:1,5S3_HD	50,53	0,49	50,76	0,03	48,49	0,87	2564,91	26,40	221,9343	0,47
TVC_1:3S3_HD	50,55	0,28	50,71	0,25	48,17	1,02	2563,75	23,33	218,954	1,26

Apresentam-se:

- As dimensões, massas e áreas de exposição dos provetes ensaiados, no quadro 4.2.
- Os resultados referentes ao ensaio de higroscopicidade, incluindo gráficos de variação do teor de água (através da média dos 3 provetes de cada argamassa) nas figuras 4.41 a 4.50, os valores de captação de humidade para cada ciclo na figura 4.51, e os valores obtidos de MBV na figura 4.52.

Na figura 4.13 observa-se que existe uma tendência contrária à anteriormente descrita; neste caso verifica-se uma diminuição da massa dos provetes em todas as argamassas.

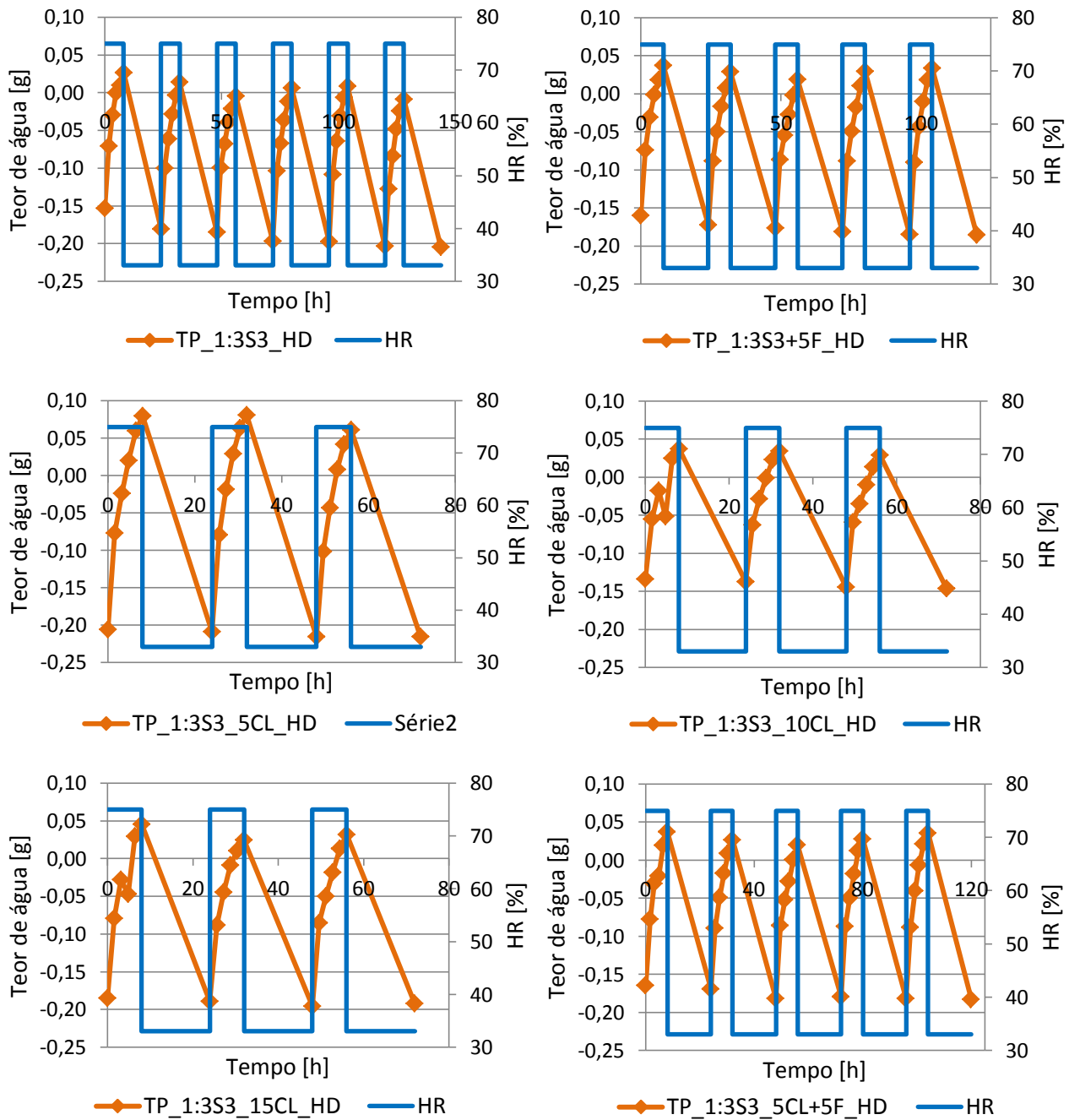


Figura 4.13 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas TP_1:3S3_HD, TP_1:3S3+5F_HD, TP_1:3S3_5CL_HD, TP_1:3S3_10CL_HD, TP_1:3S3_15CL_HD e TP_1:3S3_5CL+5F_HD com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.

Tal como as argamassas presentes na figura 4.13 também as da 4.14 apresentam a tendência de diminuição de massa com o avançar dos ciclos, à excepção da TVC_1:3S3_HD, para a qual os valores parecem manter-se constantes.

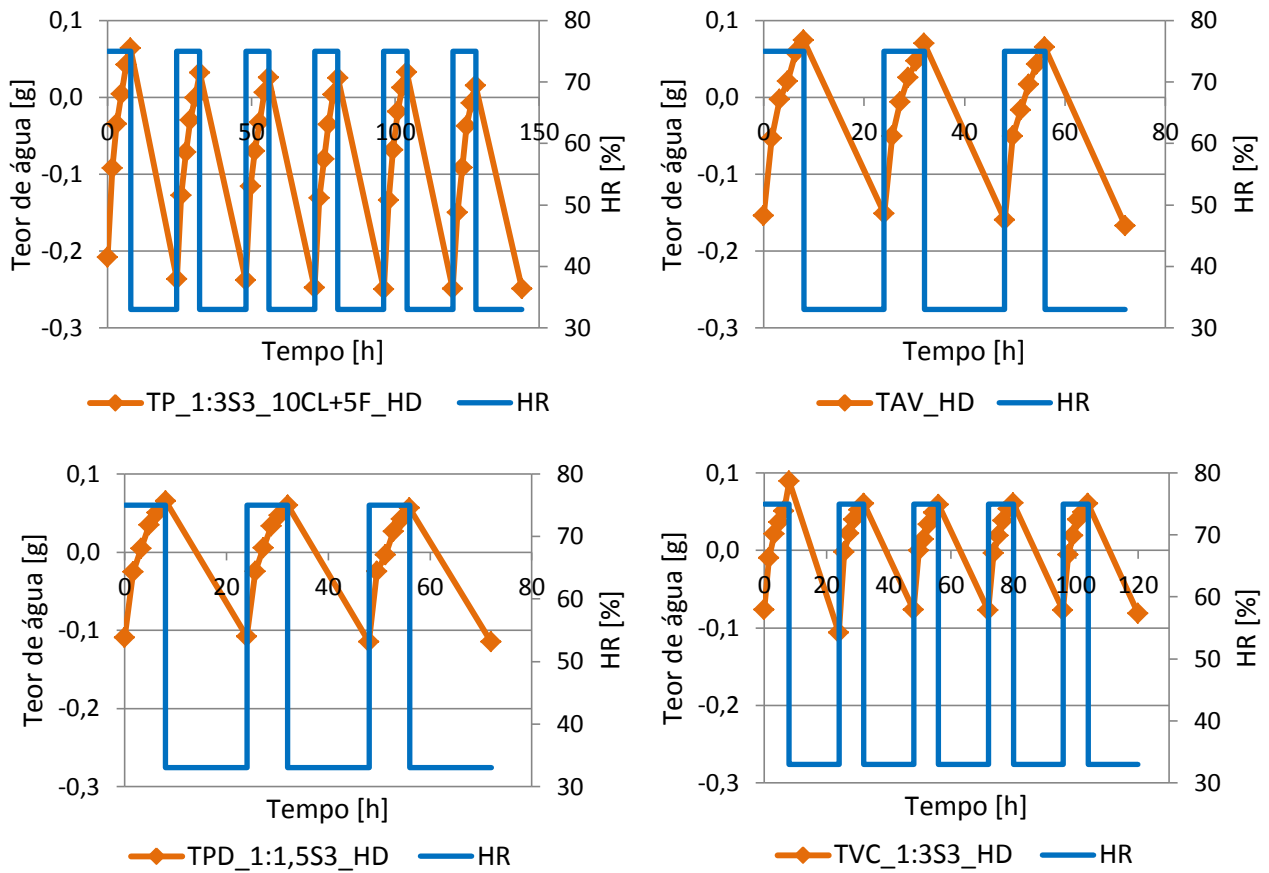


Figura 4.14 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas TP_1:3S3_10CL+5F_HD, TAV_HD, TPD_1:1,5S3_HD e TVC_1:3S3_HD com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.

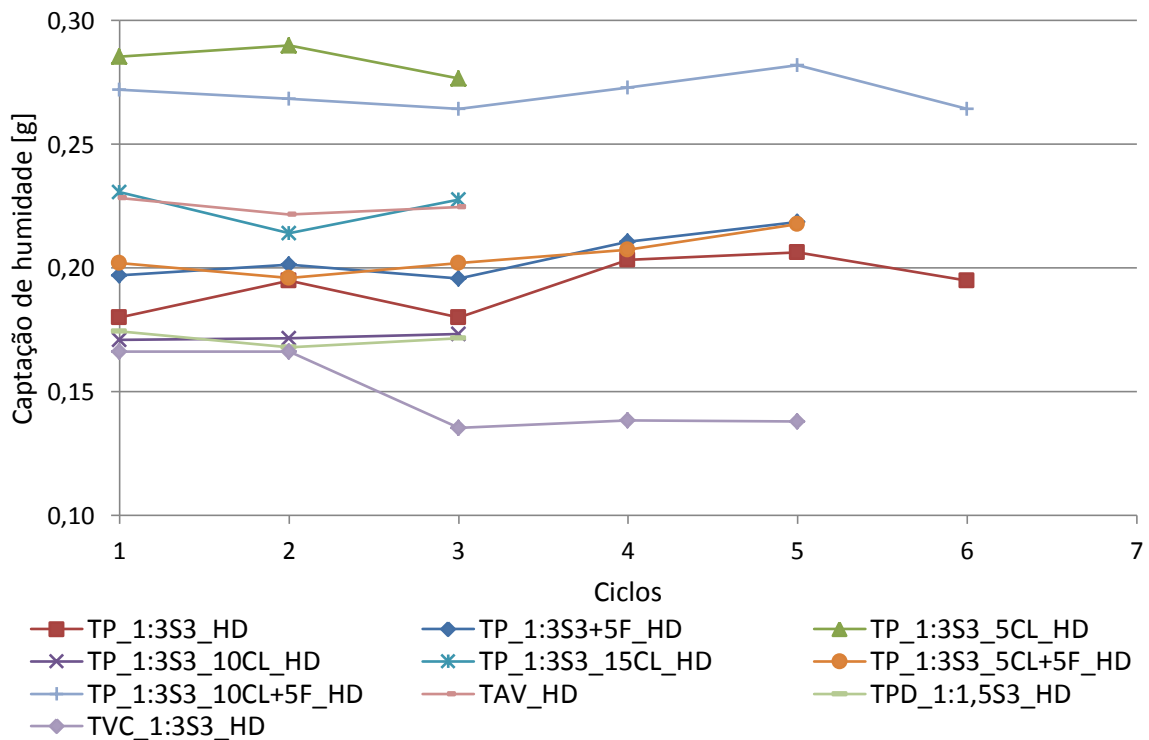


Figura 4.15 - Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas do Grupo 2.

Pela análise da figura 4.15 observa-se que para as argamassas de terra padrão sem estabilização para além da areia, com 5% de fibras de cânhamo e com fibras de cânhamo e 5% de cal aérea (TP_1:3S3_HD, TP_1:3S3_5F_HD, TP_1:3S3_5CL+5F_HD) a captação de humidade parece aumentar com os ciclos.

Para a argamassa TVC_1:3S3_HD verifica-se um decréscimo na captação de humidade do segundo para o terceiro ciclo, mas a partir desse ciclo os valores parecem estabilizar.

A argamassa TP_1:3S3_10CL+5F_HD, apesar de alguns aumentos e diminuições, parece manter-se em torno dos mesmos valores, sem apresentar tendência de aumento ou diminuição da captação de humidade.

Nas restantes argamassas apenas se efectuaram três ciclos, pelo que se torna mais complicado verificar se existe alguma tendência de aumento ou diminuição; no entanto o comportamento parece constante.

Neste grupo, observa-se, por análise da figura 4.16, que todas as argamassas têm valor de MBV acima de 1 g/(m².%HR) o que as coloca na classe mínima de bom na classificação de amortecimento da humidade relativa de Rode (2005). A argamassa que apresentou melhor comportamento foi a TP_1:3S3_5CL_HD seguida da TP_1:3S3_10CL+5F_HD, ambas com classificação de excelente.

Comparando as argamassas de terra padrão sem ligante TP_1:3S3_HD e TP_1:3S3+5F_HD verifica-se que, segundo este ensaio, a adição desta baixa percentagem de fibras não provocou uma alteração significativa no MBV.

Quanto à adição de cal aérea nestas argamassas torna-se difícil observar uma tendência. A adição de 5% de cal aérea parece promover uma melhoria significativa do índice MBV mas quando a adição é maior, com 10% ou 15%, os valores de MBV voltam a baixar, embora não de forma proporcional à introdução de cal.

Quando se analisa a adição de fibras em argamassas com cal aérea verifica-se que:

- Quando se acrescenta 5% de fibras à argamassa TP_1:3S3_HD existe um aumento muito ligeiro do MBV.

- Entre as argamassas de terra padrão com 3 volumes de areia e 10% de cal aérea, sem e com 5% de fibras de cânhamo, TP_1:3S3_10CL_HD e TP_1:3S3_10CL+5F_HD, verifica-se um aumento do MBV, que altera a classificação da argamassa do bom para o excelente;

- Entre as argamassas de terra padrão com 3 volumes de areia e 5% de cal aérea, sem e com 5% de fibras de cânhamo, TP_1:3S3_5CL_HD e TP_1:3S3_5CL+5F_HD, constata-se uma diminuição do MBV, ou seja, um decréscimo na capacidade de amortecimento de humidade na argamassa.

Comparando argamassas com diferentes tipos de terra mas com o mesmo traço observa-se que a argamassa TP_1:3S3_HD apresenta um valor de MBV superior à TVC_1:3S3_HD. Este resultado demonstra que o tipo de terra utilizado irá influenciar efectivamente o MBV e que, no caso das argamassas deste grupo, a terra TP parece promover melhores resultados.

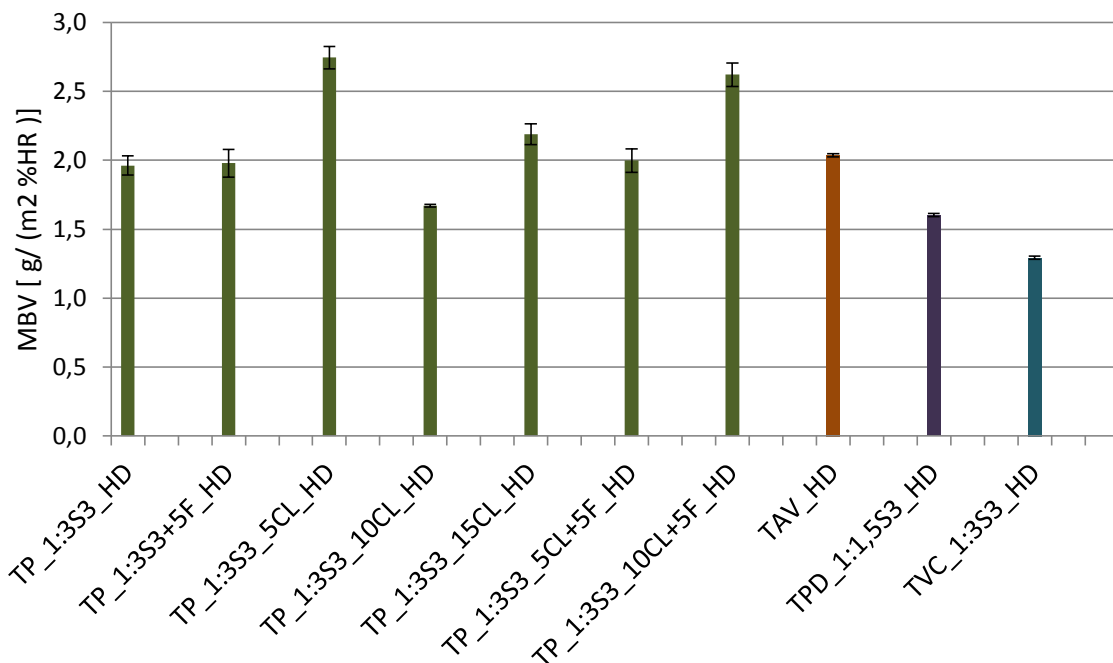


Figura 4.16 – Valores de MBV para as argamassas do Grupo 2.

4.3. Resultados das argamassas do Grupo 3

Neste grupo apresentam-se os resultados das argamassas da cal aérea, areia e fibras em provetes prismáticos. No Quadro 4.3 apresentam-se as dimensões, massas e áreas de exposição dos provetes e nas figuras 4.17 a 4.23, os gráficos de variação do teor de água, de captação de humidade e os valores de MBV.

Quadro 4.3 - Dimensões, massas e área de exposição dos provetes do Grupo 3.

Argamassa	Dimensões (mm)						Área de exposição (mm ²)		Massa no equilíbrio (g)	
	L1		L2		H		Média	DP	Média	DP
	Média	DP	Média	Média	DP	Média				
CL_1:3S4_A	40,13	0,30	39,78	0,13	22,66	2,08	1596,50	11,39	60,54	2,87
CL_1:3S4_5TP_A	39,80	0,55	39,99	0,06	21,25	2,00	1591,62	24,36	58,39	8,02
CL_1:3S4_10TP_A	40,12	0,11	40,34	0,66	21,39	2,10	1618,46	28,61	55,99	7,27
CL_1:3S4_15TP_A	40,29	0,38	39,91	0,12	22,60	2,14	1608,10	13,97	55,62	2,27
CL_1:3S4_25TP_A	39,82	0,39	39,98	0,36	22,19	1,66	1591,66	9,72	57,37	4,48
CL_1:2S4_A	37,28	5,30	39,16	1,86	24,91	5,90	1456,38	182,25	64,17	20,94
CL_1:2S4_5TP_A	40,11	0,74	40,00	0,05	21,58	0,02	1604,29	31,35	54,90	3,03
CL_1:2S4_10TP_A	39,95	0,09	40,16	0,09	20,57	0,28	1604,39	2,08	55,55	1,52
CL_1:2S4_25TP_A	40,38	0,33	40,39	0,29	20,44	1,30	1631,08	17,34	53,37	0,89
CL_1:2S4_50TP_A	40,20	0,35	39,73	0,14	21,18	0,58	1597,04	18,48	55,53	2,63
CL_1:2S4_25TP_9,2FA_A	39,91	0,03	39,12	0,77	20,89	1,32	1561,42	31,48	49,09	1,56
CL_1:3S4_10TP_10,4FA_A	39,93	0,13	39,02	0,62	22,32	1,65	1558,25	29,84	48,77	1,54
CL_1:2S4_25TP_5FC_A	39,67	0,10	39,46	0,93	23,07	3,22	1565,43	40,02	53,47	6,92
CL_1:2S4_25TP_3,5FO_A	40,06	0,85	39,88	0,20	21,64	1,04	1597,53	30,08	50,15	2,26
CL_1:2S4_25TP_1,7FO_A	40,06	0,31	39,99	0,25	20,74	1,24	1602,08	3,08	52,66	2,20
CL_1:3S4_10TP_3,9FO_A	40,67	0,72	40,19	0,87	22,88	0,25	1634,86	61,35	54,89	2,08
CL_1:3S4_10TP_2FO_A	39,97	1,07	40,10	0,11	21,33	1,09	1602,85	46,37	53,38	0,77

Na figura 4.17 observa-se em todas as argamassas um aumento de massa nos provetes ao longo dos ciclos. É possível observar que as argamassas sem adições de terra são aquelas que apresentam menor captação de humidade, e que este valor aumenta com o aumento da percentagem de terra adicionada nas argamassas.

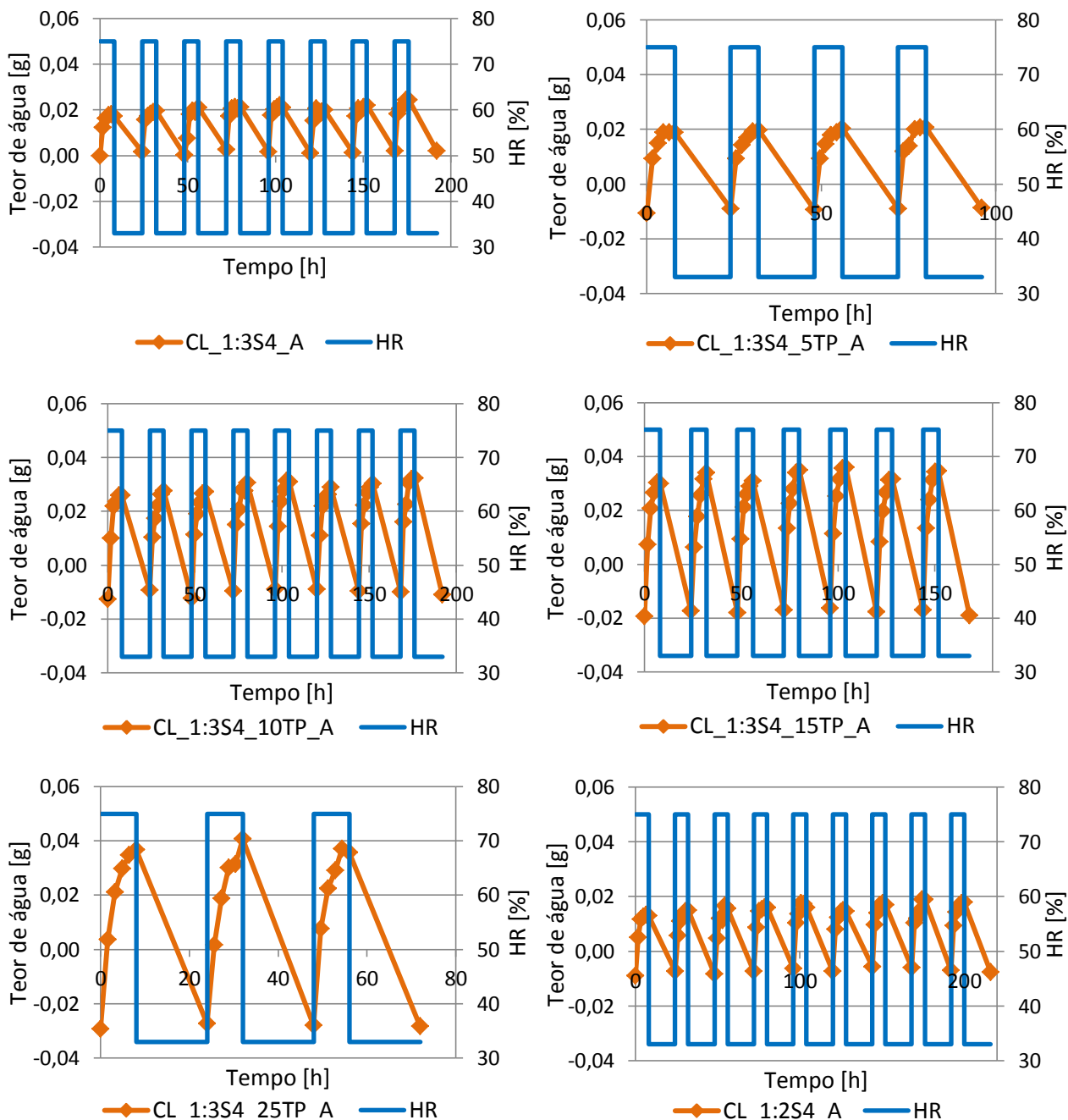


Figura 4.17 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas CL3_1:3S4_A, CL_1:3S4_5TP_A, CL_1:3S4_10TP_A, CL_1:3S4_15TP_A, CL_1:3S4_25TP_A e CL_1:2S4_A com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.

Na figura 4.18 observa-se uma tendência de aumento de massa nos provetes para todas as argamassas, excepto a CL_1:3S4_10TP_10,4FA_A, para a qual existe um decréscimo na massa.

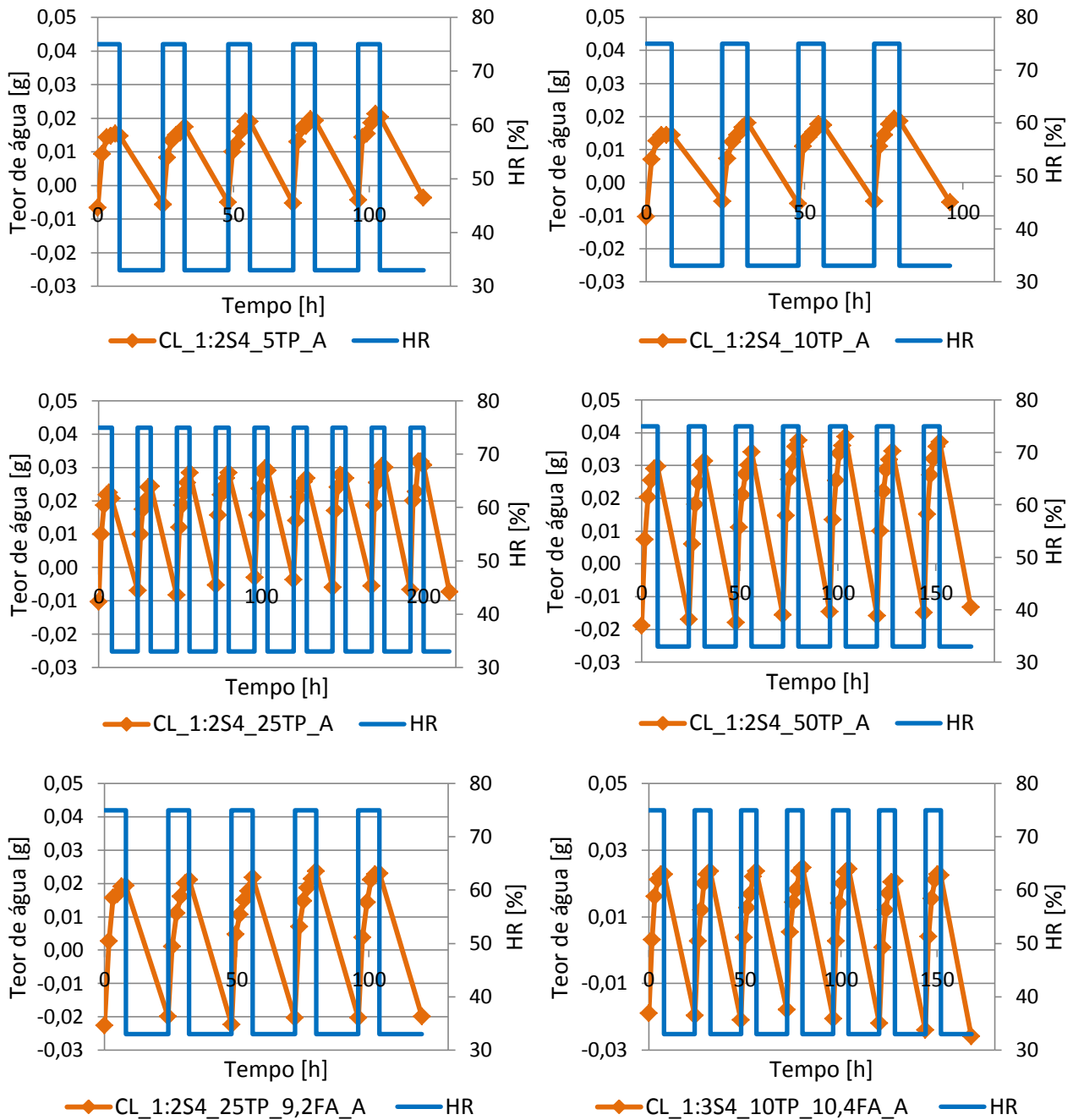


Figura 4.18 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas CL_1:2S4_5TP_A, CL_1:2S4_10TP_A, CL_1:2S4_25TP_A, CL_1:2S4_50TP_A, CL_1:2S4_25TP_9,2FA_A e CL_1:3S4_10TP_10,4FA_A com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.

Na figura 4.19 verifica-se que a argamassa de cal aérea partindo do traço volumétrico 1:2 com substituição de 25% da cal por terra e 3,5% de fibras de lã de ovelha, CL_1:2S4_25TP_3,5FO_A, apesar de apresentar uma tendência inicial de valores constantes, sofre um decréscimo de massa pontual e volta a apresentar valores constantes. Os valores da massa da argamassa com apenas 1,7% de lã de ovelha, CL_1:2S4_25TP_1,7FO_A, apesar de sofrerem algumas variações, parecem manter-se em torno de um valor constante. As restantes argamassas (CL_1:2S4_25TP_5FC_A, CL_1:3S4_10TP_3,9FO_A e CL_1:3S4_10TP_2FO_A) parecem manter valores de massa constantes.

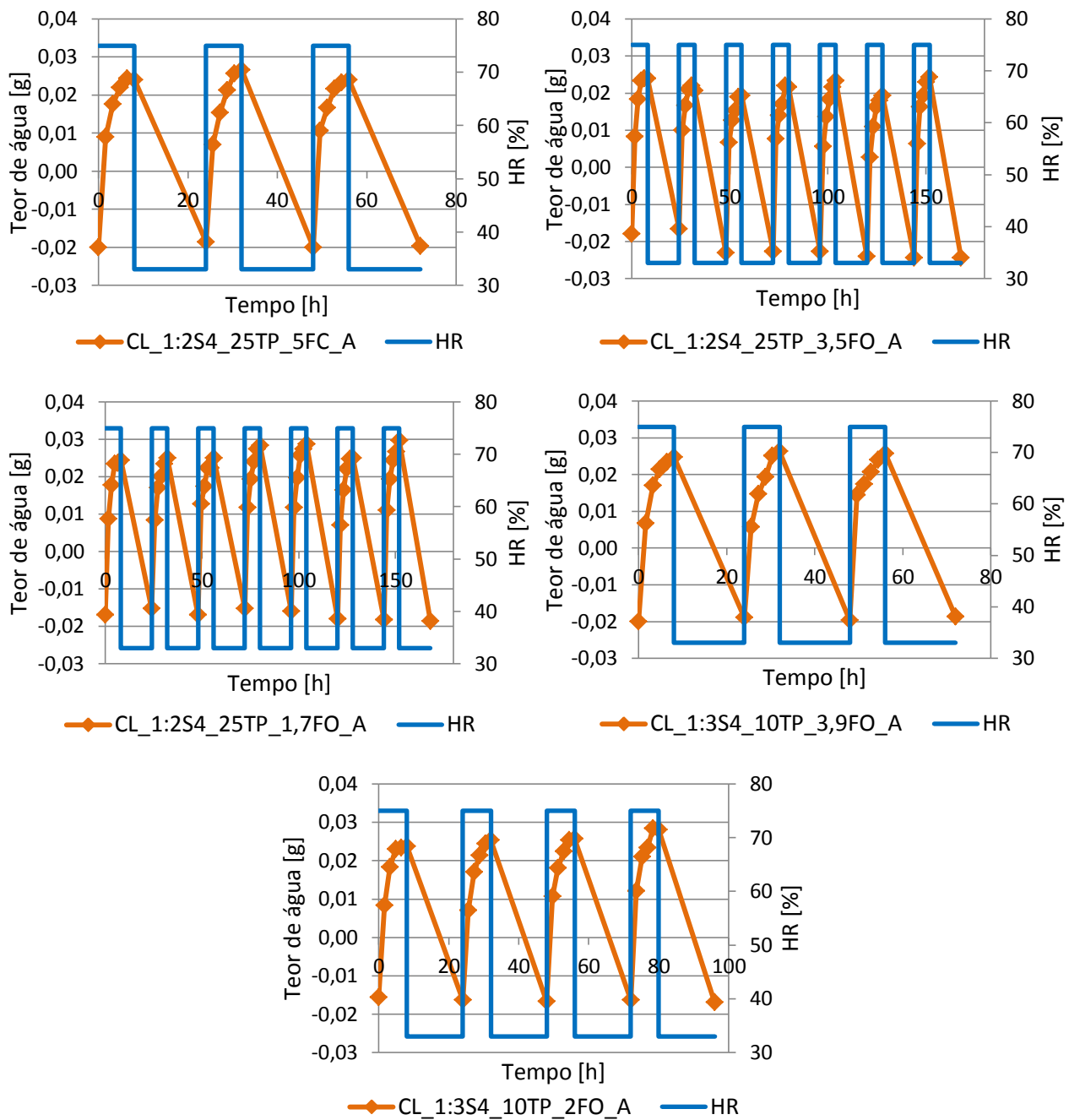


Figura 4.19 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas CL_1:2S4_25TP_5FC_A, CL_1:2S4_25TP_3,5FO_A, CL_1:2S4_25TP_1, CL_1:3S4_10TP_3,9FO_A e CL_1:3S4_10TP_2FO_A com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.

Pela análise da figura 4.20 observa-se que, para quase todas as argamassas, existe uma evolução da capacidade de captação de humidade com alguns aumentos e diminuições ao longo dos ciclos mas que, de uma forma geral, parece mostrar uma tendência de aumento.

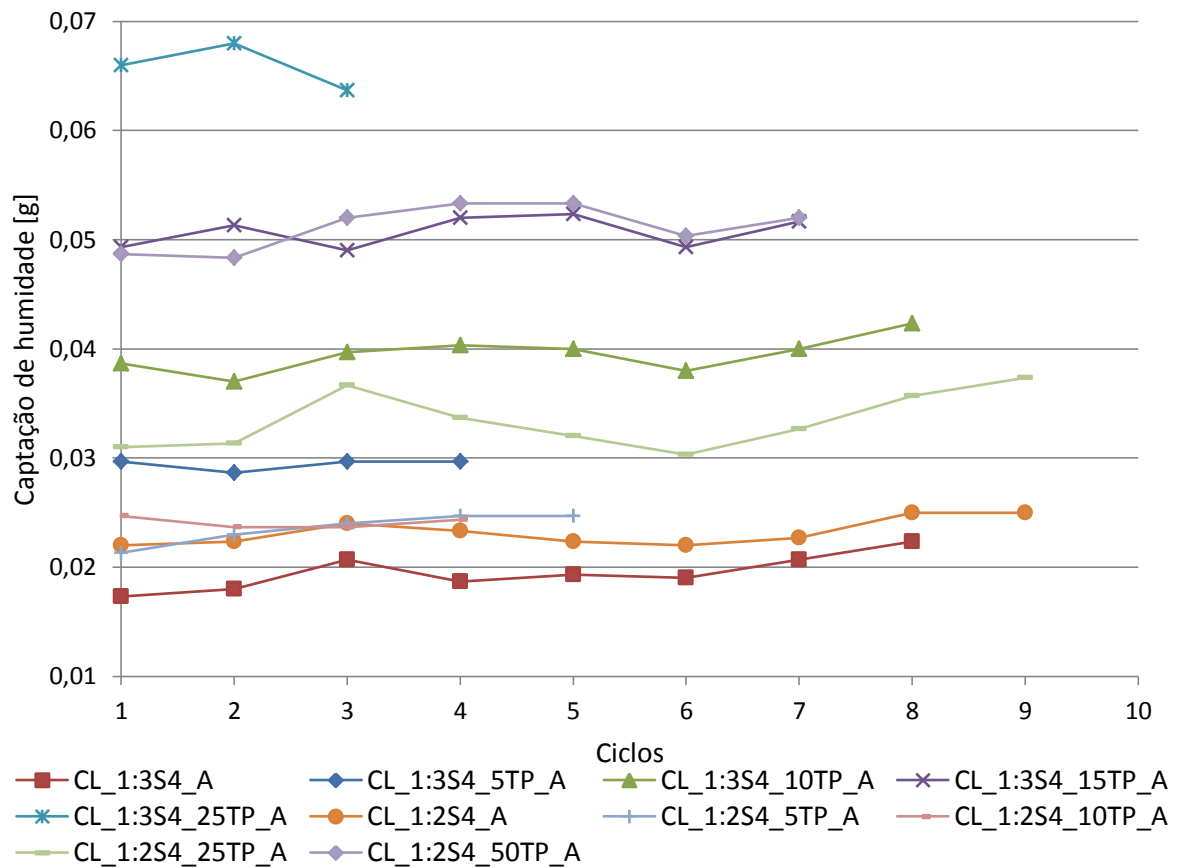


Figura 4.20 – Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas sem fibras do Grupo 3.

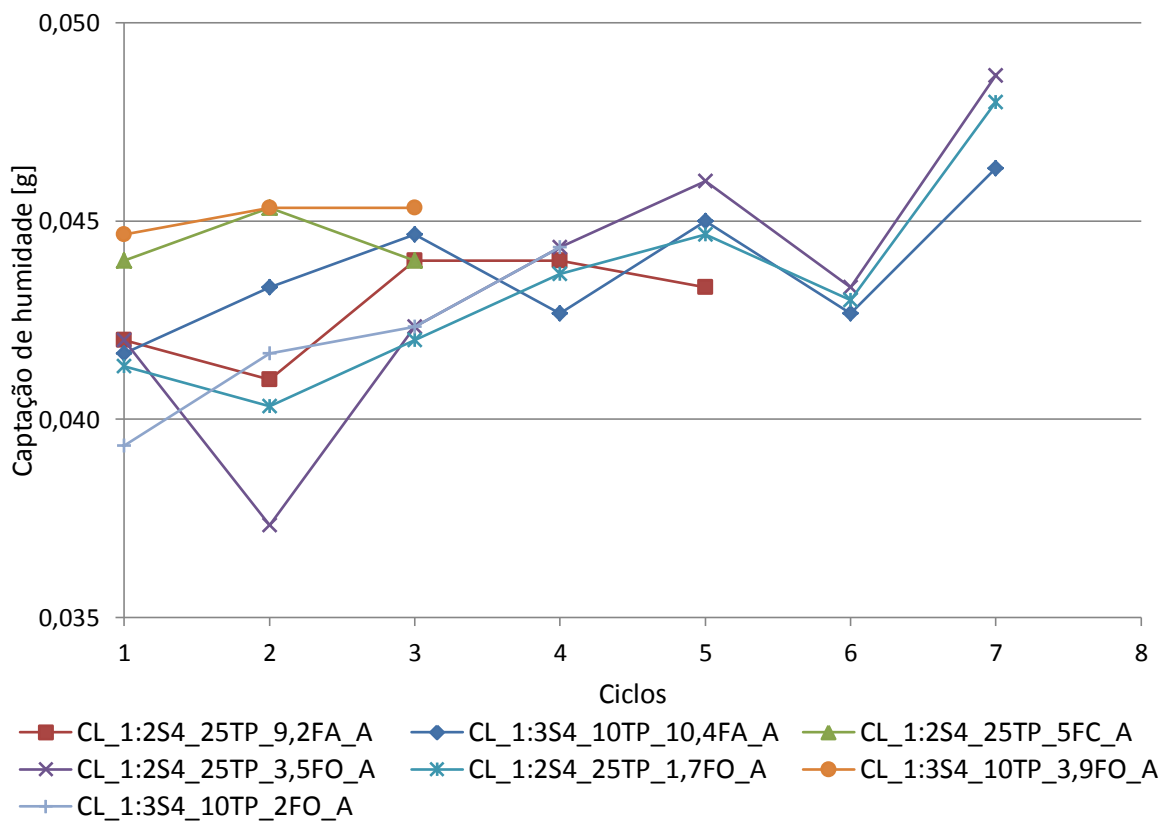


Figura 4.21 – Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas com fibras do Grupo 3.

No caso da figura 4.21, em que se apresentam os valores de captação de humidade para as argamassas com fibras, apesar de uma evolução com aumentos e diminuições, a tendência geral é de aumento.

Na figura 4.22 repara-se que, para as argamassas de cal aérea e areia ao traço volumétrico 1:3, a substituição parcial da areia fina por terra argilosa provoca uma clara melhoria no MBV da argamassa. Quanto maior a quantidade de terra argilosa utilizada, maior o aumento de MBV, o que indica um incremento da capacidade de absorção de vapor de água. Segundo a classificação de Rode et al. (2005) a argamassa padrão, CL_1:3S4_A, é classificada como tendo uma influência limitada para a regulação das humidades relativas interiores, enquanto que a argamassa com 25% de terra, CL_1:3S4_25TP_A, com MBV entre 0,5 e 1 g/(m².%HR), apresenta uma classificação de moderado.

Nesta figura, nota-se ainda que nas argamassas de cal aérea e terra partindo do traço volumétrico 1:2, em que a substituição efectuada é da cal pela terra argilosa, não existe uma relação tão linear como a anteriormente descrita mas, mesmo assim, verifica-se um incremento do MBV com o acréscimo da argila utilizada. A argamassa padrão apresenta um valor de MBV ligeiramente superior às argamassas com 5% e 10 % de terra, mas quando a quantidade de terra acrescentada é maior (25% ou 50%) já se verifica um aumento claro do MBV. Neste caso parece ser benéfica a utilização de terra em quantidades mais elevadas.

Analisando agora a influência dos traços das argamassas: quando se comparam as argamassas padrão, ou seja CL_1:3S4_A com CL_1:2S4_A, é a argamassa com menor quantidade de agregado que apresenta melhores resultados.

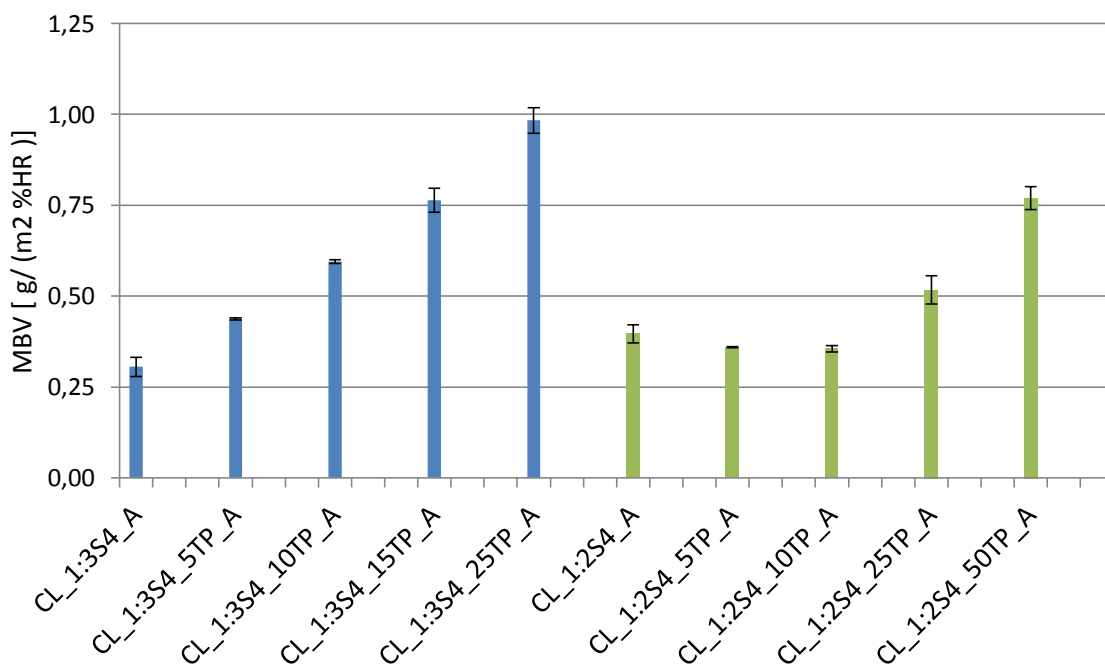


Figura 4.22 - Valores de MBV para as argamassas sem adição de fibras do Grupo 3.

Através da figura 4.23 pode analisar-se a influência da adição de fibras nas argamassas de cal e terra. Apresentam-se nesta figura os valores de MBV das argamassas com as adições de fibra e das respectivas argamassas padrão, ou seja, sem fibras.

As argamassas padrão, CL_1:3S4_10TP_A e a CL_1:2S4_25TP_A, apresentam uma classificação de moderado e, apesar de a adição de fibras de casca de arroz, resíduos de lã de ovelha e crina de cavalo provocarem um aumento do MBV, este é bastante subtil, pelo que não chega para alterar a classificação das argamassas. No entanto, distingue-se sempre uma melhoria.

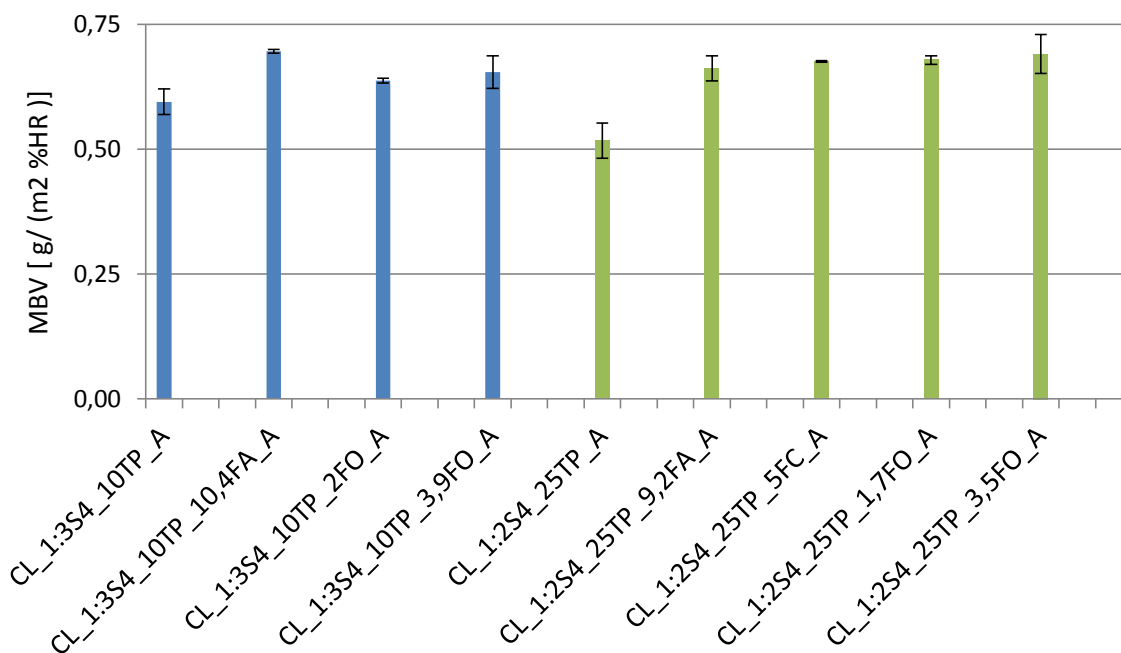


Figura 4.23 - Valores de MBV para as argamassas com adição de fibras do Grupo 3.

4.4. Resultados das argamassas do Grupo 4

Neste grupo as argamassas analisadas são iguais às do grupo anterior, ou seja, de terra e cal aérea, mas os provetes utilizados encontram-se contaminadas por sulfatos, visto que foram previamente sujeitos ao ensaio de resistência aos sulfatos.

Tal como nos grupos anteriores apresentam-se em primeiro lugar, no quadro 4.4, os valores referentes às características dos provetes e em seguida, nas figuras 4.24 a 4.26 os resultados do ensaio de MBV.

Quadro 4.4 - Dimensões, massas e área de exposição dos provetes do Grupo 4.

Argamassa	Dimensões (mm)						Área de exposição (mm ²)		Massa no equilíbrio (g)	
	L1		L2		H		Média	DP	Média	DP
	Média	DP	Média	DP	Média	DP				
CL_1:3S4_A_sulfatos	39,53	9,85	51,81	14,51	32,69	1,90	1952,97	140,35	95,45033	9,33
CL_1:3S4_10TP_A_sulfatos	36,17	10,36	40,56	8,58	29,59	2,02	1421,00	240,14	66,988	14,33
CL_1:3S4_25TP_A_sulfatos	44,82	2,80	29,58	0,77	25,76	2,41	1324,58	49,48	47,03033	7,02
CL_1:2S4_A_sulfatos	47,89	14,22	41,30	12,11	30,39	0,73	1863,37	104,33	83,256	2,49
CL_1:2S4_25TP_A_sulfatos	35,09	9,56	41,85	8,37	28,82	1,37	1416,67	89,51	64,75733	2,89
CL_1:2S4_50TP_A_sulfatos	39,68	8,42	34,15	9,12	26,49	0,50	1305,09	75,67	51,486	2,08

Os resultados apresentados neste subcapítulo não foram todos obtidos no mesmo ensaio, isto porque durante um primeiro ensaio, com todas as argamassas deste grupo, os provetes das argamassas CL_1:3S4_10TP_A, CL_1:3S4_25TP_A e CL_1:2S4_A não estabilizaram tão rapidamente como os restantes e foi necessário interromper o ensaio devido ao encerramento do Campus da FCT UNL no mês de Agosto. O ensaio foi repetido para essas argamassas e, pela observação da figura 4.24, repara-se que existe uma diferença no tipo de curvas obtidas.

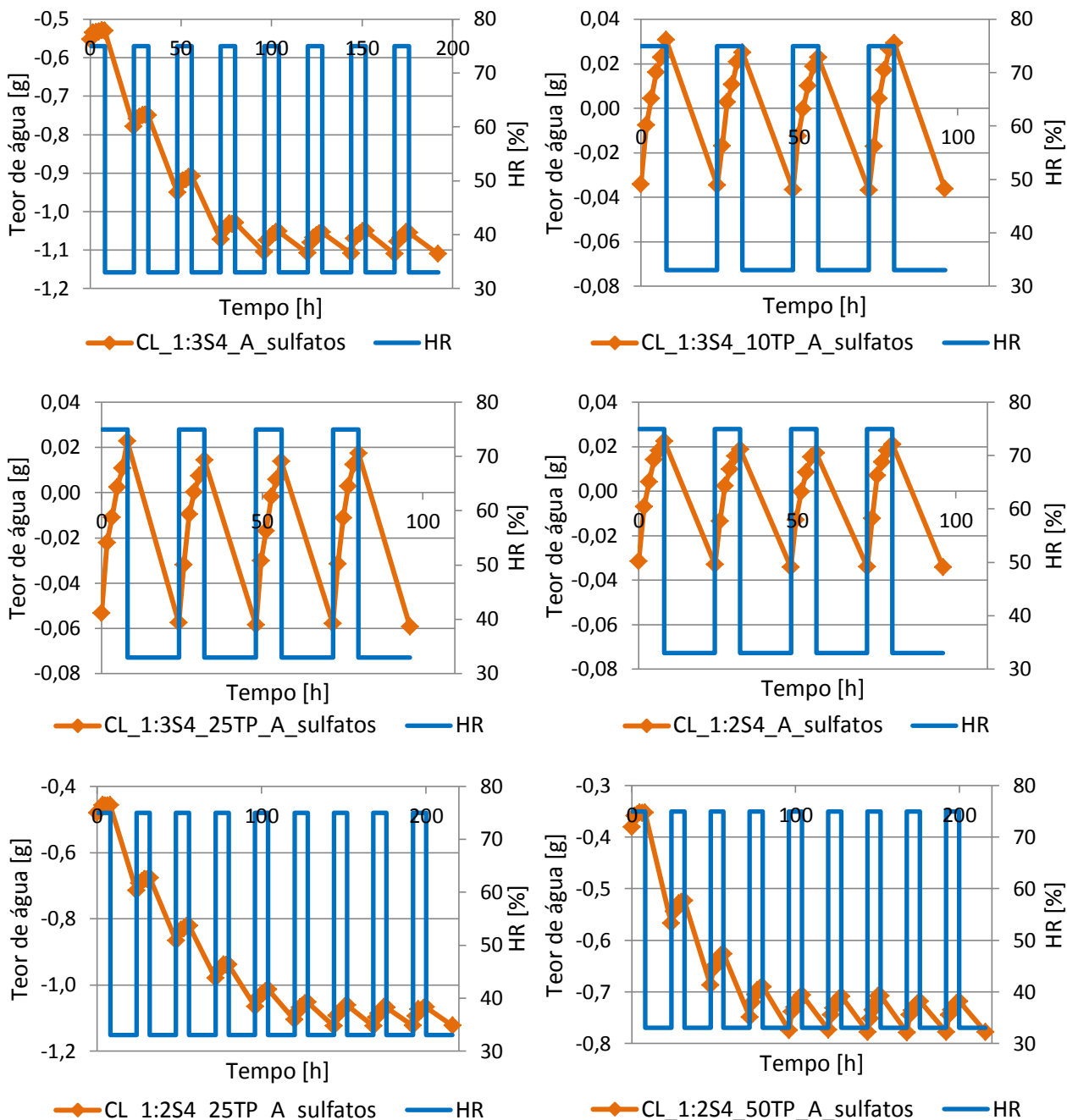


Figura 4.24 - Variação média do teor de água dos provetes das argamassas CL_1:3S4_A_sulfatos, CL_1:3S4_10TP_A_sulfatos, CL_1:3S4_25TP_A_sulfatos, CL_1:2S4_A_sulfatos, CL_1:2S4_25TP_A_sulfatos e CL_1:2S4_50TP_A_sulfatos com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.

Nos gráficos referentes às argamassas que estabilizaram no primeiro ensaio (Fig. 4.24), verifica-se que a variação do teor de água é sempre inferior ao teor de água em equilíbrio. Já nos restantes gráficos, que correspondem às argamassas em que o ensaio teve que ser repetido, observa-se que o teor de água oscila entre valores acima e abaixo do teor de água do provete no equilíbrio.

Outra diferença perceptível está no número de ciclos necessários até ao equilíbrio. Nos provetes ensaiados antes do encerramento do Campus foram necessários oito ou nove ciclos até se atingirem os três ciclos estáveis requeridos, enquanto nos provetes ensaiados depois apenas foram necessários quatro ciclos.

A comparação dos valores de massa no equilíbrio, antes e depois do fecho do campus, nos provetes em que foi repetido o ensaio (quadro 4.5) pode ajudar a perceber o que causou estas diferenças.

Quadro 4.5 – Comparação das massas no equilíbrio dos provetes do grupo 4 em que foi necessário repetir o ensaio.

Argamassas	Provetes	Massa no equilíbrio [g]	
		1º Ensaio	Repetição
CL_1:3S4_10TP_A_sulfatos	1	75,448	74,286
	2	77,118	76,205
	3	51,261	50,473
CL_1:3S4_25TP_A_sulfatos	1	55,052	54,283
	2	47,340	46,548
	3	41,045	40,260
CL_1:2S4_A_sulfatos	1	81,883	80,818
	2	86,921	83,147
	3	84,348	85,803

Observando todos os dados presentes parece ter existido um erro, por excesso, na determinação da massa no equilíbrio no ensaio antes do fecho do Campus, que levou os valores da variação do teor de água a baixar bastante até atingirem um novo equilíbrio e a um consequente aumento do número de ciclos necessários.

No ensaio efectuado antes do fecho do Campus utilizaram-se duas câmaras climáticas. Uma delas, a Aralab Fiitoclima 300 EDTU, era utilizada para fazer os ciclos de baixa e alta humidade relativa enquanto uma segunda câmara, a Aralab Climatest 300 ST1, utilizou-se para manter os provetes nas condições de equilíbrio e determinar a massa no equilíbrio. Apenas nesta altura foram utilizadas as duas câmaras climáticas, visto que a segunda câmara esteve avariada e foi reparada - altura em que se realizou o ensaio com os provetes contaminados com sulfatos e com tijolos; mas aquando da reabertura do Campus a câmara encontrava-se novamente avariada.

Esta foi a única diferença registada na elaboração do ensaio; no entanto, não se notaram anomalias no comportamento da câmara climática, uma vez que o mostrador que indica a temperatura e humidade relativa interiores apresentava valores adequados (23°C e 50%HR).

Não é possível apontar uma causa definitiva para o erro que ocorreu mas poderá então estar relacionado com algum comportamento anómalo da câmara climática que foi usada para a determinação das massas no equilíbrio.

Pela análise da figura 4.25 observa-se que, para os provetes das argamassas CL_1:3S4_A_sulfatos, CL_1:2S4_25TP_A_sulfatos e CL_1:2S4_50TP_A_sulfatos houve um aumento significativo da captação de humidade nos primeiros ciclos do ensaio e que nos últimos ciclos os valores parecem estabilizar. Estes resultados estão de acordo com o que foi anteriormente observado; estes foram os provetes para os quais existiu, provavelmente, um erro na determinação da massa no equilíbrio. Portanto se os provetes efectivamente tinham uma massa no equilíbrio superior à correcta, a captação de humidade começou por ser mais pequena, permitindo que os provetes perdessem a massa em excesso e estabilizassem; então, após a estabilização, os valores de captação de humidade aproximam-se dos das restantes argamassas.

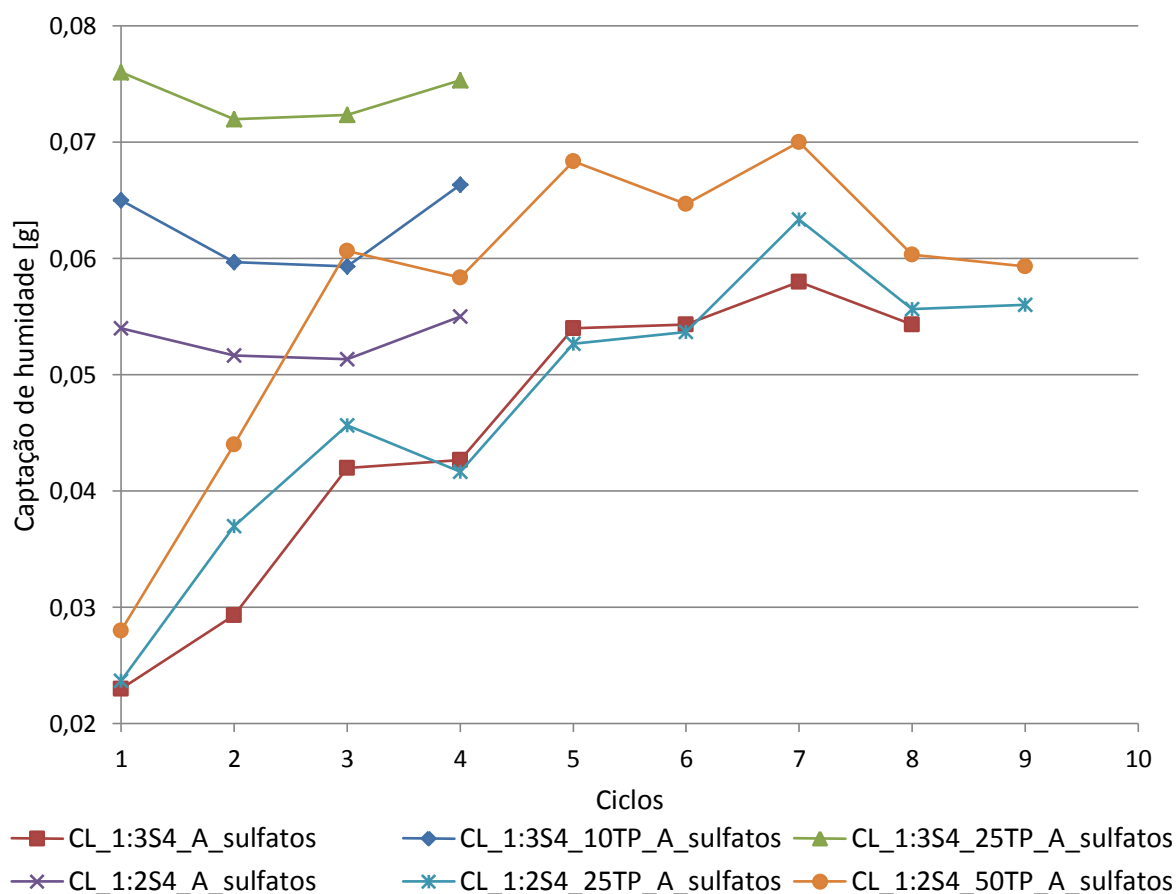


Figura 4.25 - Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas do Grupo 4.

Em relação à evolução das captações de humidade nas restantes argamassas verifica-se que nos ciclos 2 e 3 houve uma diminuição mas no ciclo 4 voltaram a atingir valores semelhantes ao ciclo 1, pelo que parece que os valores oscilam entre um valor médio.

Pela análise da figura 4.26 verifica-se que as argamassas padrão ou de referência, CL3 e CL2 apresentam classificação na classe do moderado; já nas argamassas com terra nota-se um aumento do MBV que as coloca, quase todas, na ordem do bom. A adição de terra, tanto em substituição do agregado como do ligante, provoca assim um aumento da higroscopicidade das argamassas contaminadas por sulfatos. Mas mais relevante são talvez as alterações registadas ao nível da adsorção

e desadsorção da humidade das argamassas contaminadas por sulfatos, comparativamente às que não sofreram essa contaminação.

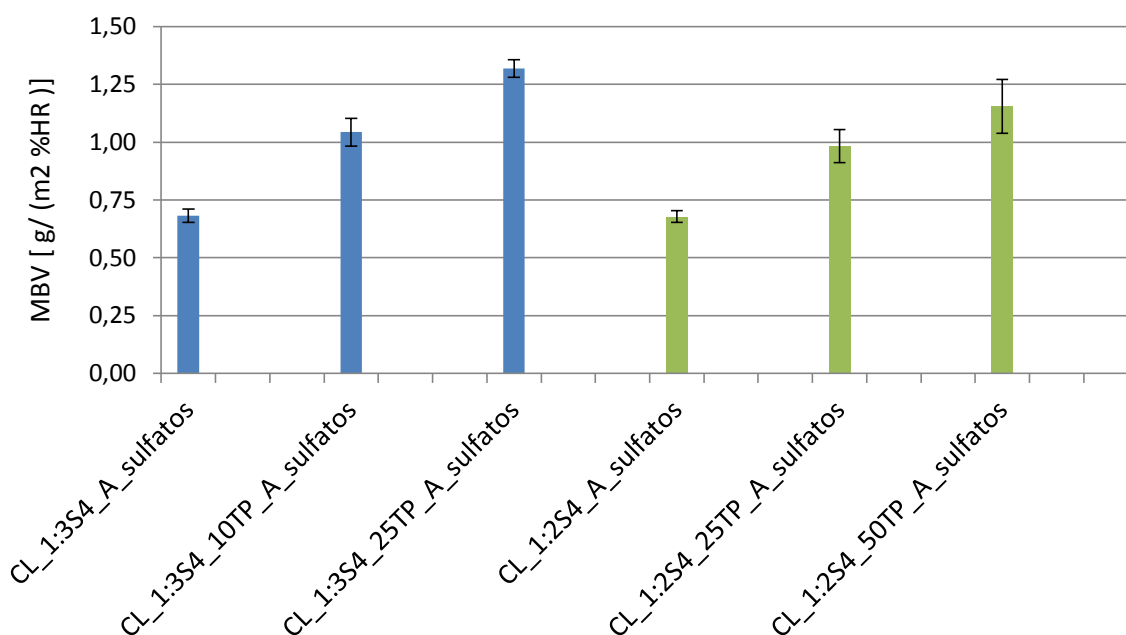


Figura 4.26 - Valores de MBV para as argamassas do Grupo 4.

4.5. Resultados das argamassas do Grupo 5

Neste grupo inserem-se argamassas de cal aérea e terra, iguais às do Grupo 2, mas agora ensaiadas em provetes constituídos por uma camada de argamassa aplicada sobre tijolo cerâmico furado corrente. Apenas se ensaiou um exemplar para cada conjunto de argamassa e tijolo devido às limitações de espaço da câmara climática, que implicariam uma ocupação desta mais longa para a análise de mais exemplares para cada argamassa.

No quadro 4.6 apresentam-se as características dos provetes e em seguida, nas figuras 4.27 a 4.29, os resultados do ensaio.

Quadro 4.6 - Dimensões, massas e área de exposição dos provetes do Grupo 5.

Argamassas	Dimensões (mm)			Área de exposição (m ²)	Massa no equilíbrio (g)
	L1	L2	H		
CL_1:3S4_A_tijolo	200,00	300,00	90,00	0,06000	5054,0
CL_1:2S4_A_tijolo	200,00	300,00	90,00	0,06000	5323,0
CL_1:3S4_10TP_A_tijolo	200,00	300,00	90,00	0,06000	4920,6
CL_1:2S4_25TP_A_tijolo	200,00	300,00	90,00	0,06000	4893,5
Tijolo	200,00	300,00	70,00	0,06000	3659,9

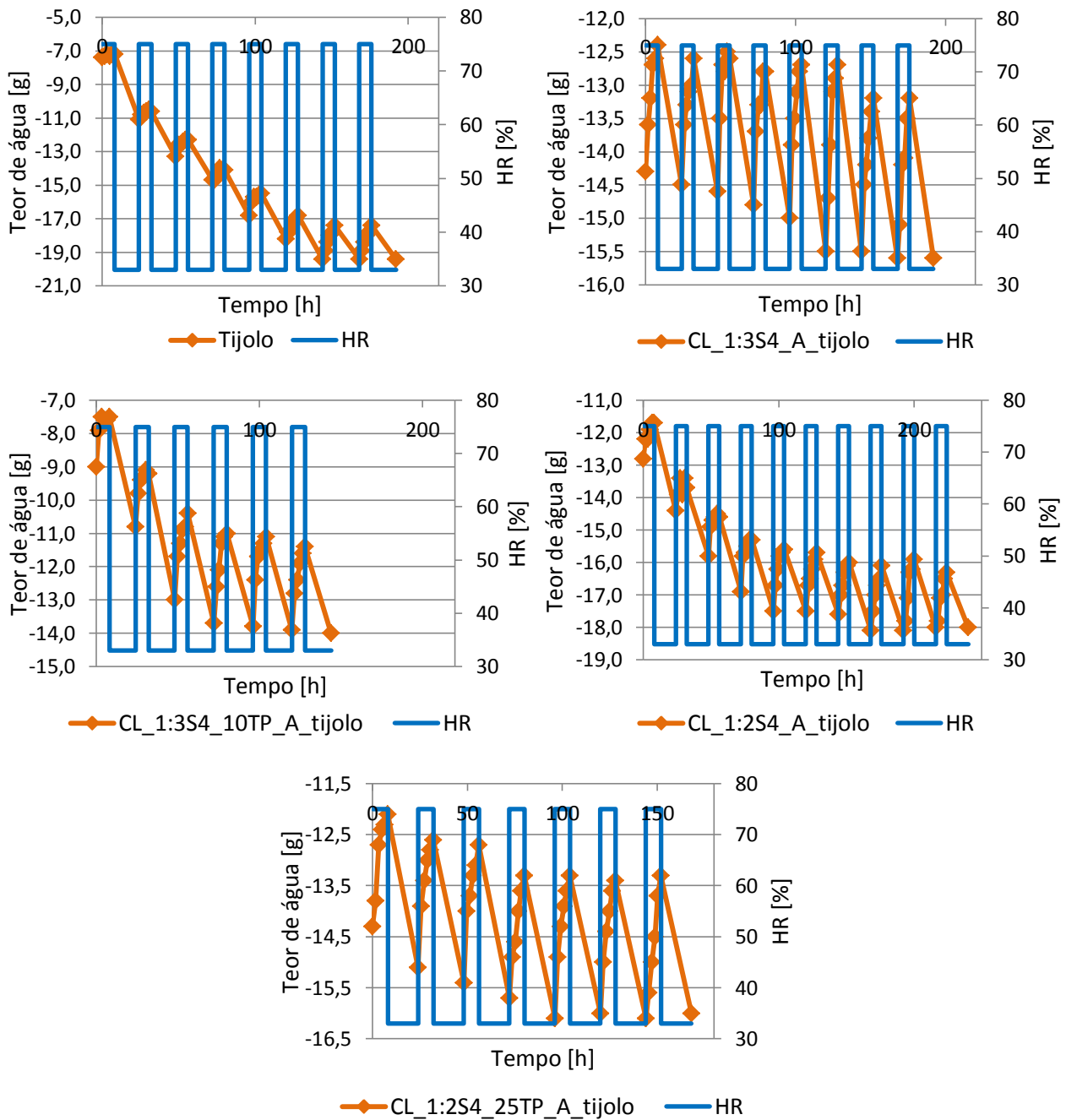


Figura 4.27 - Variação média do teor de água de um tijolo e de uma camada das argamassas CL_1:3S4_A_tijolo, CL_1:3S4_10TP_A_tijolo, CL_1:2S4_A_tijolo e CL_1:2S4_25TP_A_tijolo sobre tijolos com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.

Neste grupo (Fig. 4.27) verifica-se, em todos os provetes ensaiados, o mesmo fenómeno que ocorreu nos provetes contaminados com sulfatos ensaiados antes do fecho do Campus da FCT UNL no mês de Agosto. Estes provetes foram igualmente sujeitos a estabilização para atingir a massa no equilíbrio numa câmara climática diferente da que efectuou os ciclos, pelo que essa poderá ser a causa do problema.

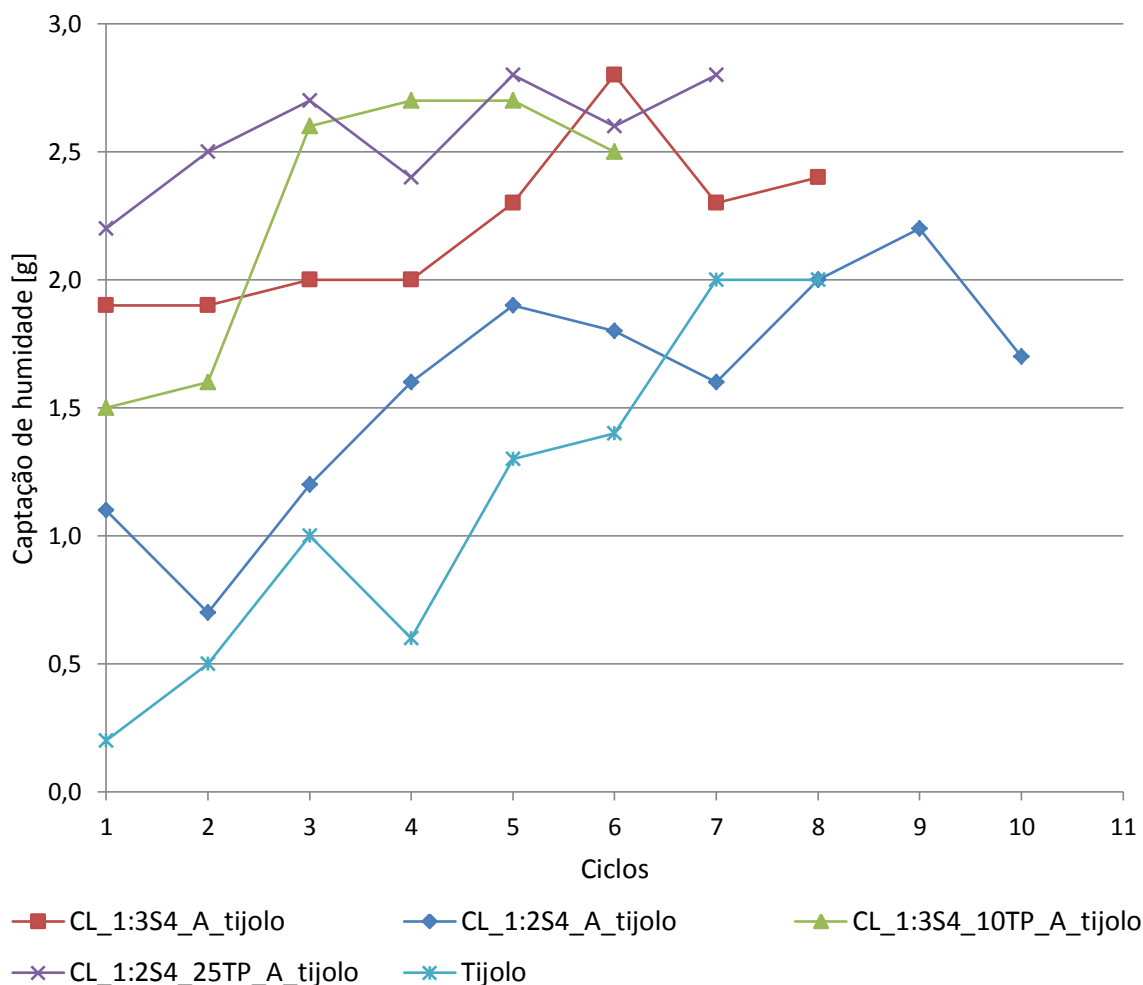


Figura 4.28 - Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas do Grupo 5.

Por análise da figura 4.28 verifica-se que, para todos os provetes deste grupo, a captação de humidade tem variações positivas e negativas mas, no geral, sofre um aumento ao longo do ensaio. Este aumento poderá estar relacionado com o facto de a massa no equilíbrio destes provetes estar errada, e ser superior à correcta, pelo que no início do ensaio dos provetes a captação de humidade era menor devido à necessidade de os provetes atingirem um novo equilíbrio.

Pela análise da figura 4.29 verifica-se que o tijolo apresenta um MBV que o coloca na classe de moderado quanto à sua capacidade de regulação da HR interior.

Quando se analisam os provetes que constituem soluções de sistema, ou seja, compostos por um conjunto de elementos, neste caso o tijolo associado a uma camada de argamassa, verifica-se (exceto no caso da argamassa com traço volumétrico 1:2 de cal aérea e areia) uma melhoria das características face ao tijolo simples. Com efeito, apenas o provete CL_1:2S4_A_tijolo apresenta MBV inferior ao do tijolo; nos restantes há um aumento que, no caso do CL_1:3S4_10TP_A_tijolo e CL_1:2S4_25TP_A_tijolo, chega a alterar a classificação para a classe de bom.

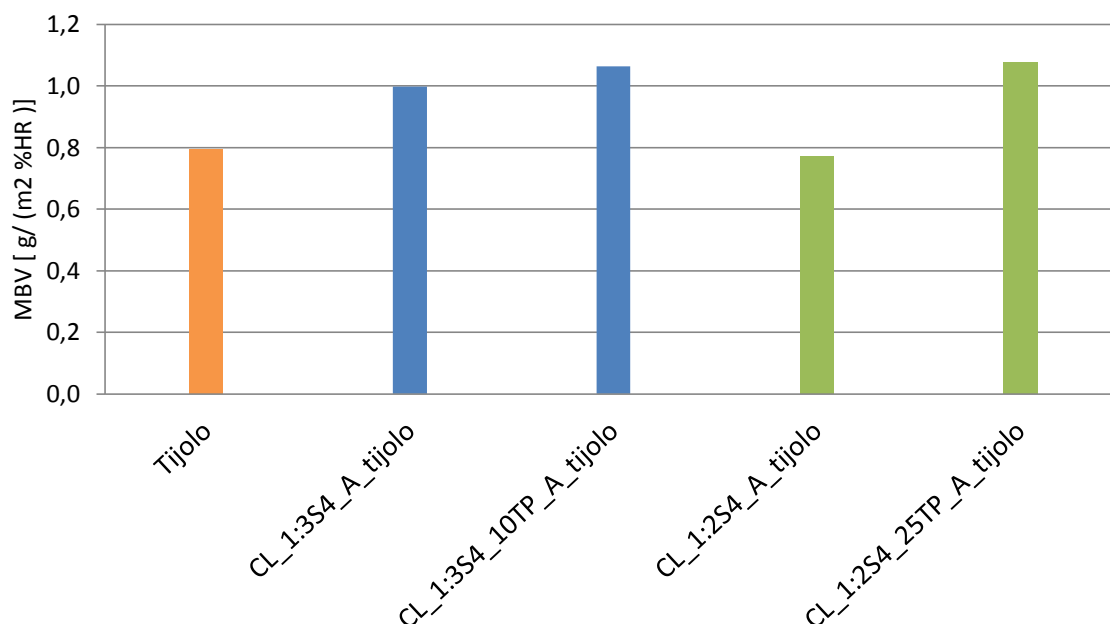


Figura 4.29 - Valores de MBV para as argamassas do Grupo 5.

4.6. Resultados das argamassas do Grupo 6

Neste grupo apresentam-se, no quadro 4.7 as características dos provetes e, nas figuras 4.30 a 4.35, os resultados referentes às argamassas de cal hidráulica natural sem e com adições de resíduos cerâmicos.

Quadro 4.7 - Dimensões, massas e área de exposição dos provetes do Grupo 6.

Argamassa	Dimensões (mm)						Área de exposição (mm ²)		Massa no equilíbrio (g)	
	L1		L2		H		Média	DP	Média	DP
	Média	DP	Média	DP	Média	DP				
NHL_1:3S4_H	40,09	0,44	40,15	0,14	23,20	1,46	1609,49	19,34	66,89	2,50
NHL_1:3S4_5R1_A	39,83	0,69	39,91	0,54	19,62	3,06	1589,13	12,51	56,87	10,53
NHL_1:3S4_10R1_A	40,19	0,28	39,98	0,23	20,08	2,34	1606,66	14,52	55,81	7,97
NHL_1:3S4_5R1+5Mk_A	40,14	0,08	39,95	0,14	22,43	1,42	1603,72	2,83	64,54	1,71
NHL_1:3S4_5R1+10Mk_A	40,21	0,01	40,10	0,28	22,29	1,20	1612,42	11,54	62,97	2,88
NHL_1:3S4_10R1+10Mk_A	39,98	0,19	40,08	0,20	23,80	2,14	1602,25	8,06	67,30	4,80
NLH_1:3S4_St	40,07	0,30	40,02	0,14	20,54	1,57	1603,61	14,16	57,19	3,90
NLH_1:4S4_A	40,07	0,04	40,16	0,22	21,30	0,80	1608,95	10,28	56,55	1,75
NHL_1:4S4_10R1_A	40,01	0,06	40,10	0,18	21,45	0,42	1604,27	8,63	54,91	1,89
NHL_1:4S4_10R2_A	40,00	0,02	39,84	0,18	25,41	0,44	1593,73	7,69	67,88	0,69
NHL_1:4S4_25R1_A	40,08	0,15	40,12	0,17	23,83	1,32	1608,02	12,25	65,01	2,96
NHL_1:4S4_25R2_A	40,18	0,17	40,04	0,11	21,05	1,02	1608,69	11,24	56,45	2,00

O provete 3 da argamassa NHL_1:4S4_25R2_A entretanto partiu-se durante o ensaio e os valores médios resultam apenas de dois provetes.

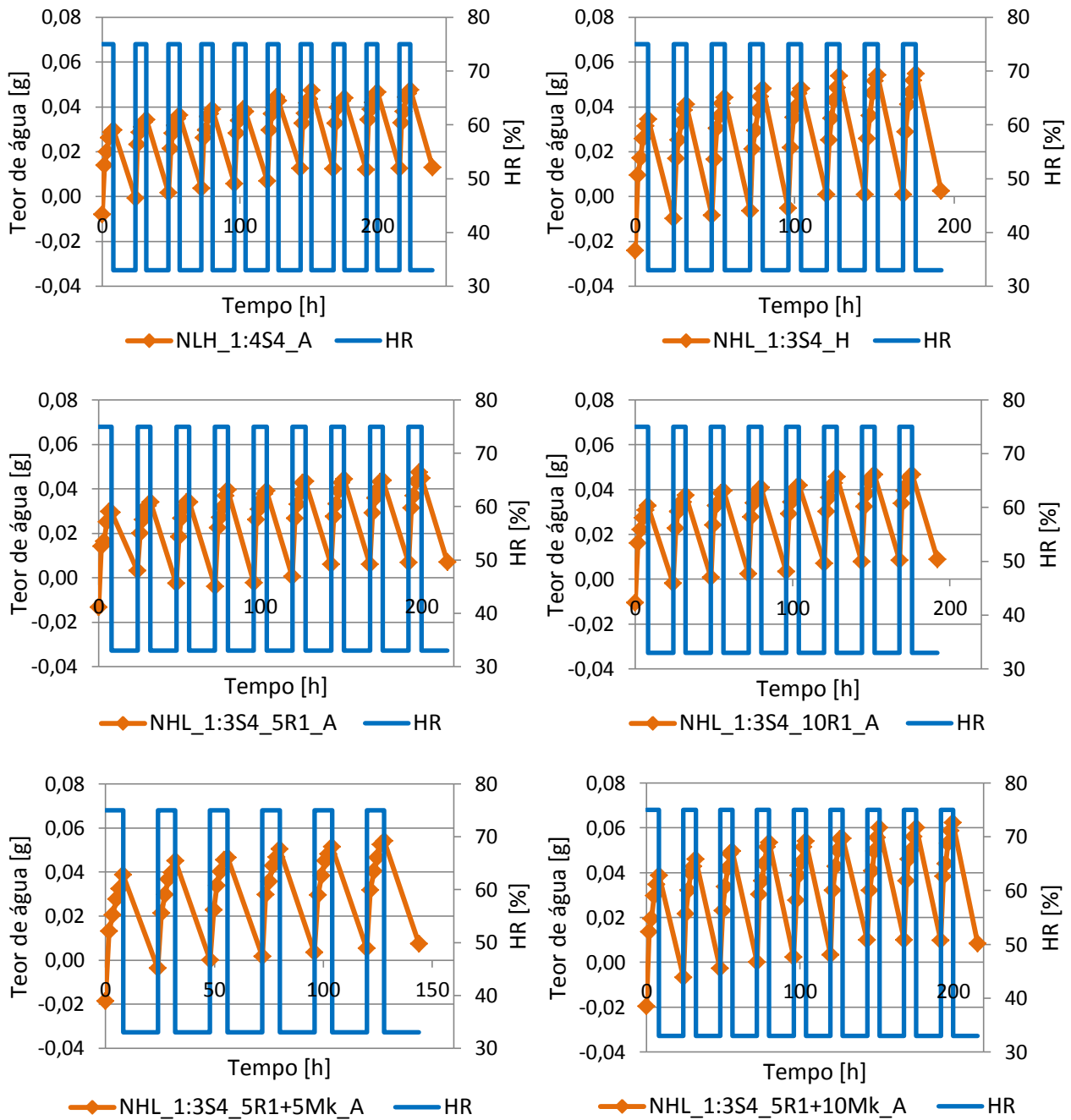


Figura 4.30 - Variação média do teor de água das argamassas NHL_1:3S4_St, NHL_1:3S4_H, NHL_1:3S4_5R1_A, NHL_1:3S4_10R1_A, NHL_1:3S4_5R1+5Mk_A e NHL_1:3S4_5R1+10Mk_A com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.

Na figura 4.30 observa-se, em todas argamassas, uma tendência bastante perceptível de aumento da massa dos provetes ao longo dos ciclos

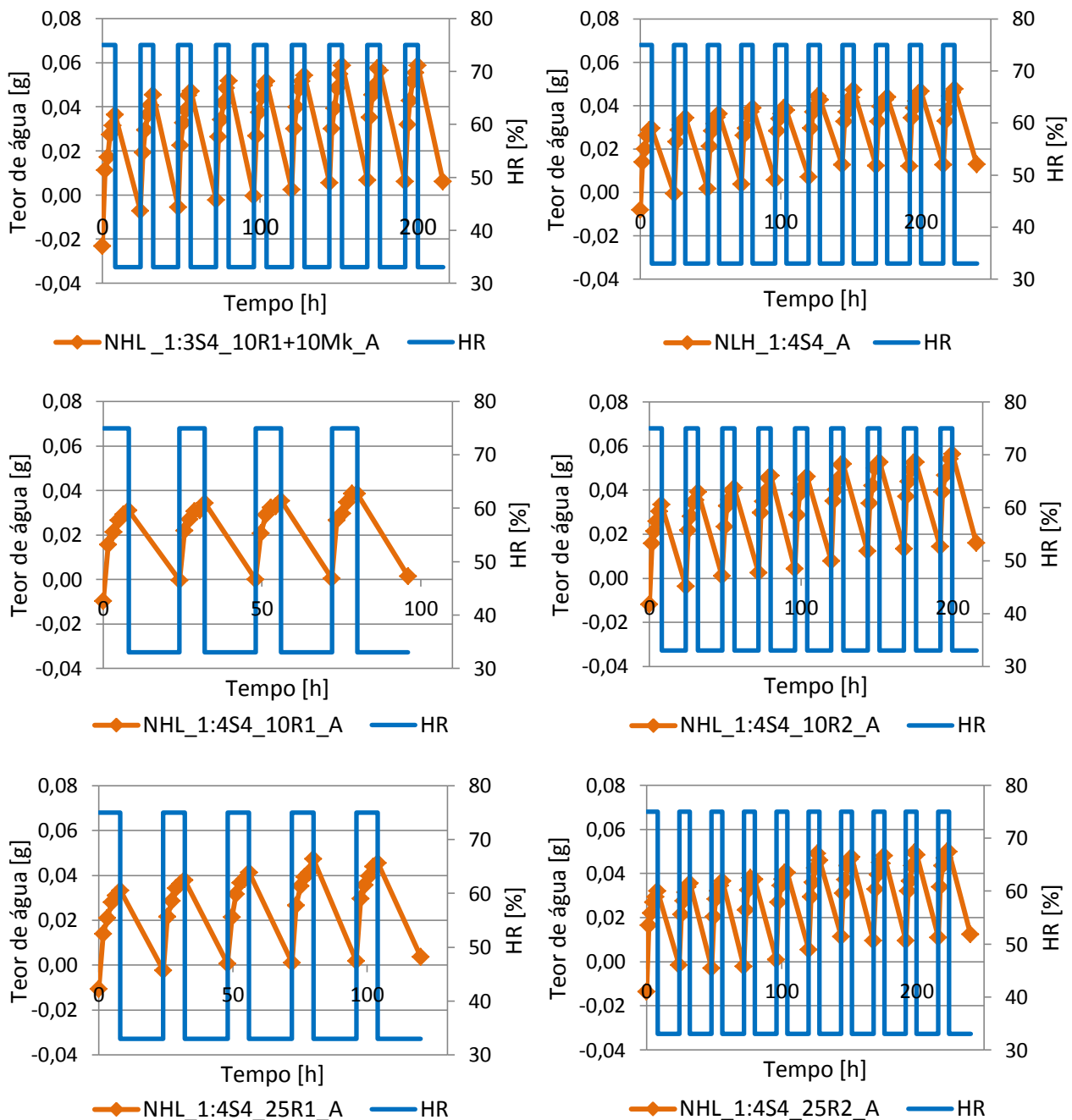


Figura 4.31 - Variação média do teor de água das argamassas NHL_1:3S4_10R1+10Mk_A, NHL_1:4S4_A, NHL_1:4S4_10R1_A, NHL_1:4S4_10R2_A, NHL_1:4S4_25R1_A e NHL_1:4S4_25R2_A com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.

Tal como na figura 4.30 também na figura 4.31 as argamassas apresentam uma tendência de aumento de massa com o avançar dos ciclos.

Pela observação da figura 4.32 verifica-se que:

- A captação de humidade aumenta na argamassa NHL_1:3S4_St.
- A captação de humidade observada na argamassa NHL_1:3S4_5R1_A apresenta picos de decréscimos e aumentos no seu valor, mas no geral o seu valor diminui.
- Nas restantes argamassas a captação de humidade sofre um decréscimo logo do primeiro para o segundo ciclo e a partir daí tende a estabilizar em valores mais baixos do que os do ciclo inicial.

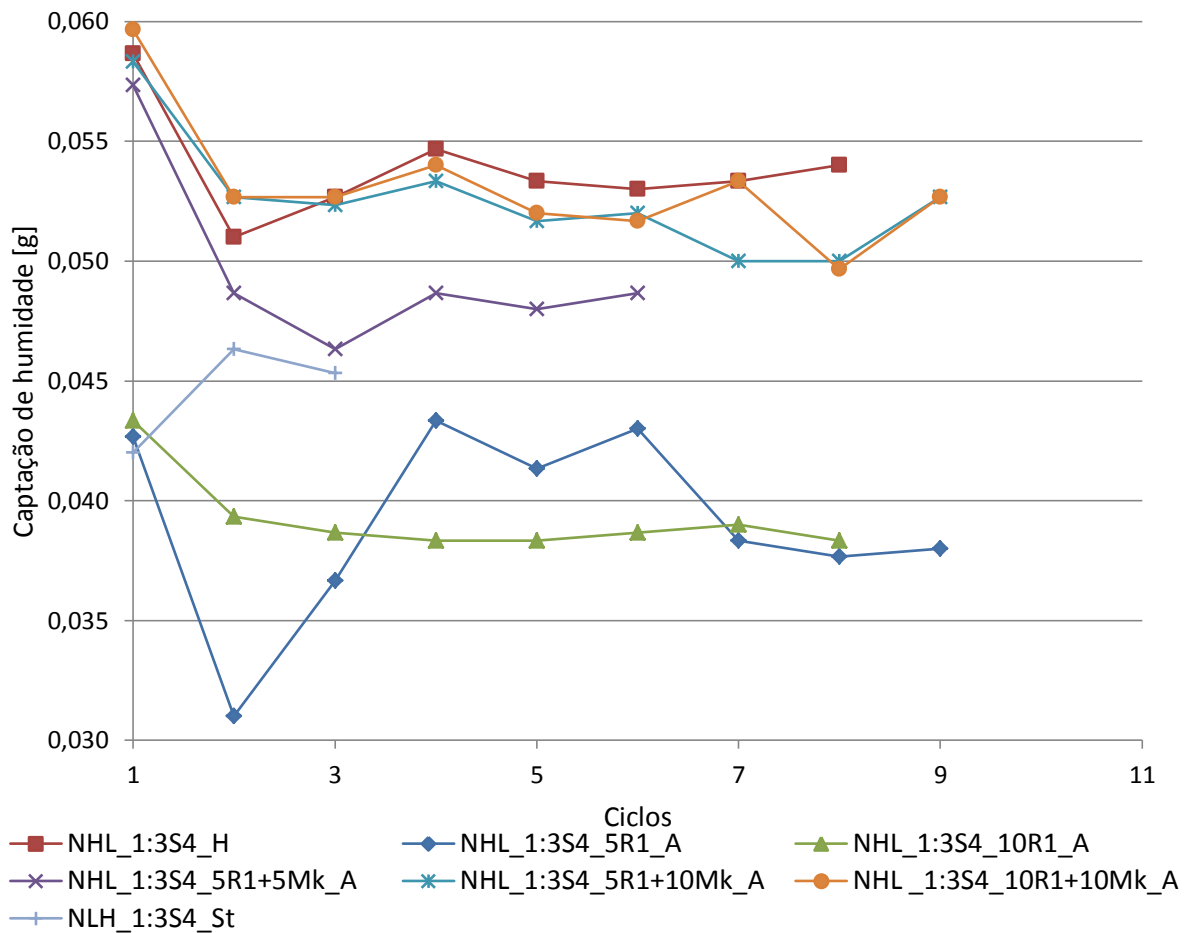


Figura 4.32 - Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas de traço 1:3 do Grupo 6.

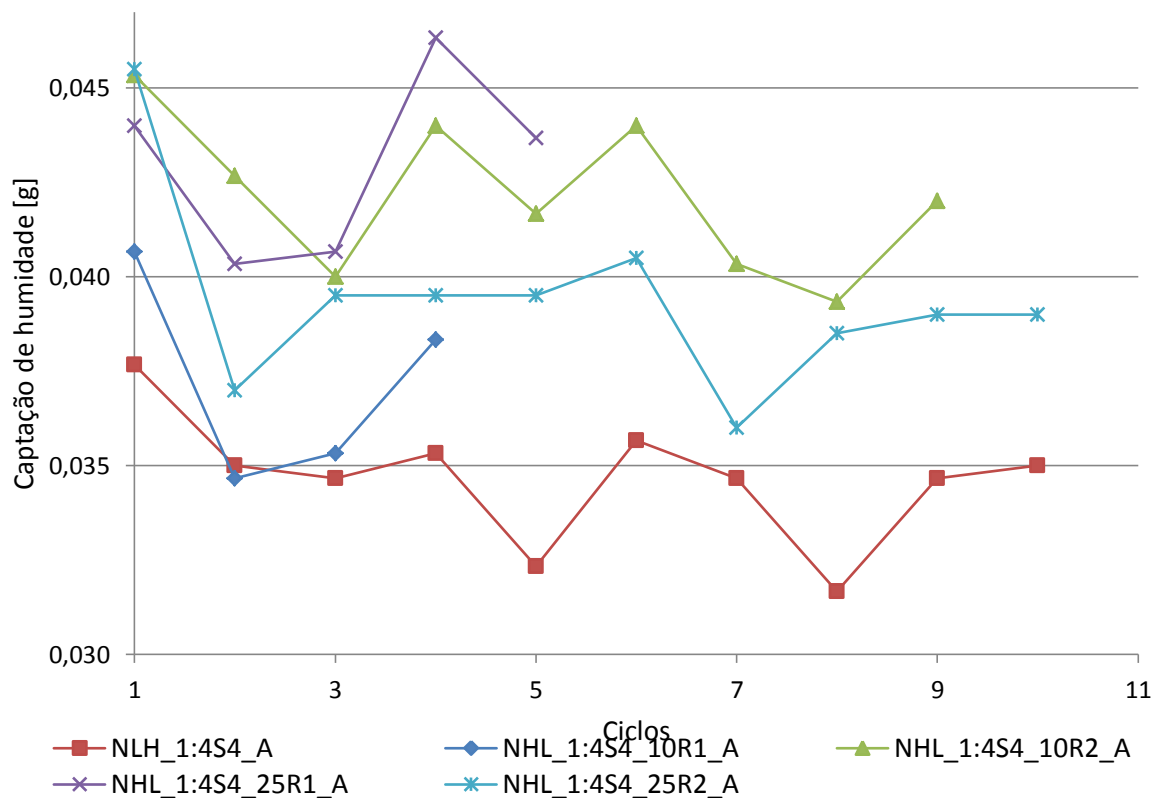


Figura 4.33 - Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas de traço 1:4 do Grupo 6.

Por análise da figura 4.33 observa-se que:

- A captação de humidade sofre um decréscimo nos primeiros ciclos na argamassa NHL_1:4S4_25R1_A mas depois aumenta e acaba por voltar a atingir valores semelhantes aos do 1º ciclo.
- A argamassa NHL_1:4S4_10R1_A sofre um decréscimo no ciclo 2, no ciclo 3 mantém o valor constante e no ciclo 4 volta a crescer; no entanto o facto de não terem sido efectuados mais ciclos para esta argamassa impede de perceber qual seria a tendência.
- A captação de humidade observada nas argamassas NHL_1:4S4_10R2_A, NHL1:4S4_A, NHL_1:4S4_25R2_A apresenta picos de decréscimos e aumentos no seu valor, mas no geral o seu valor diminui.

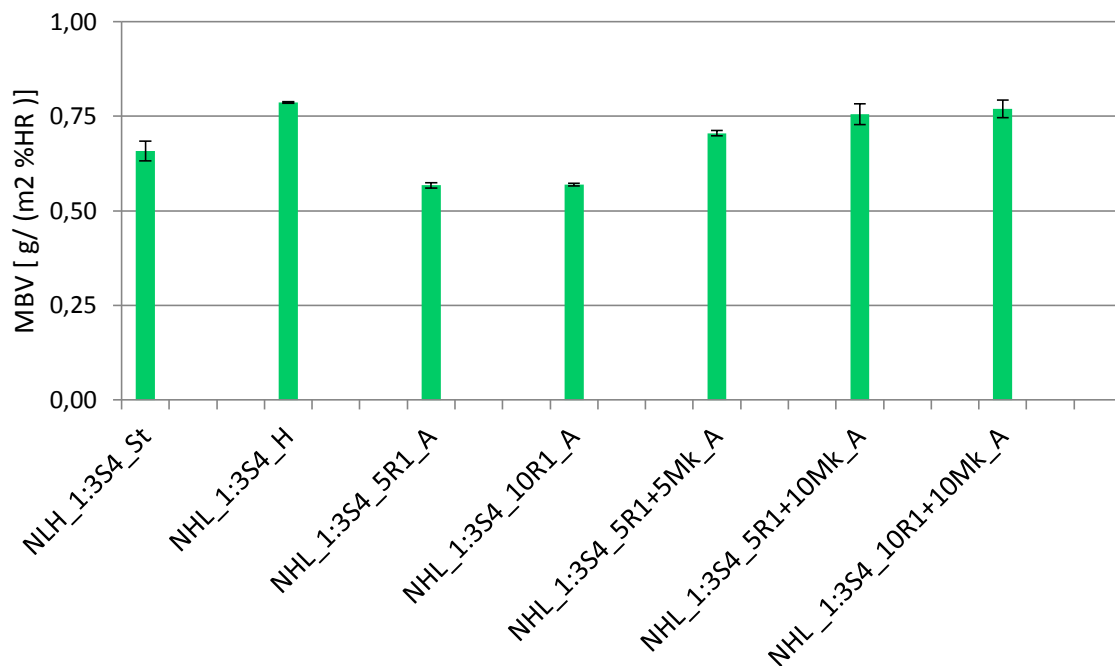


Figura 4.34 - Valores de MBV para as argamassas de traço 1:3 do Grupo 6.

Pela análise da figura 4.34 verifica-se que:

- Quanto ao tipo de cura utilizado – Aparentemente a cura afecta a capacidade de absorção/libertação de vapor de água das argamassas. A argamassa sujeita a cura húmida apresenta um valor de MBV mais elevado do que a argamassa equivalente mas sujeita a cura standard; no entanto a diferença não é suficiente para alterar a classificação de moderado para outra classe mais elevada.
- Quanto à presença do resíduo cerâmico R1 - Regista-se um aumento muito ligeiro quando a quantidade de resíduo é aumentada de 5% para 10 %; no entanto como não se possuem dados da argamassa padrão, sem resíduo, sujeita ao mesmo tipo de cura, é difícil perceber se a influência do resíduo na argamassa é positiva ou negativa.
- Sobre a adição de Mk - Verifica-se que da argamassa NHL_1:3S4_5R1_A para a que contem adição de 5% Mk, NHL_1:3S4_5R1+5Mk_A, há um aumento do MBV e quando a quantidade de MK adicionada é maior, 10%, o aumento é também mais elevado. O mesmo se verifica na argamassa com 10% de

resíduo cerâmico R1 quando lhe é adicionado 10% de Mk. Estes incrementos de MBV são, no entanto, pouco pronunciados, pelo que a classificação destas argamassas não sofre alterações, mantendo-se todas na classe moderada.

Na figura 4.35 apresentam-se os valores de MBV para as argamassas de cal hidráulica natural ao traço 1:4 e com adições de diferentes quantidades de dois resíduos cerâmicos.

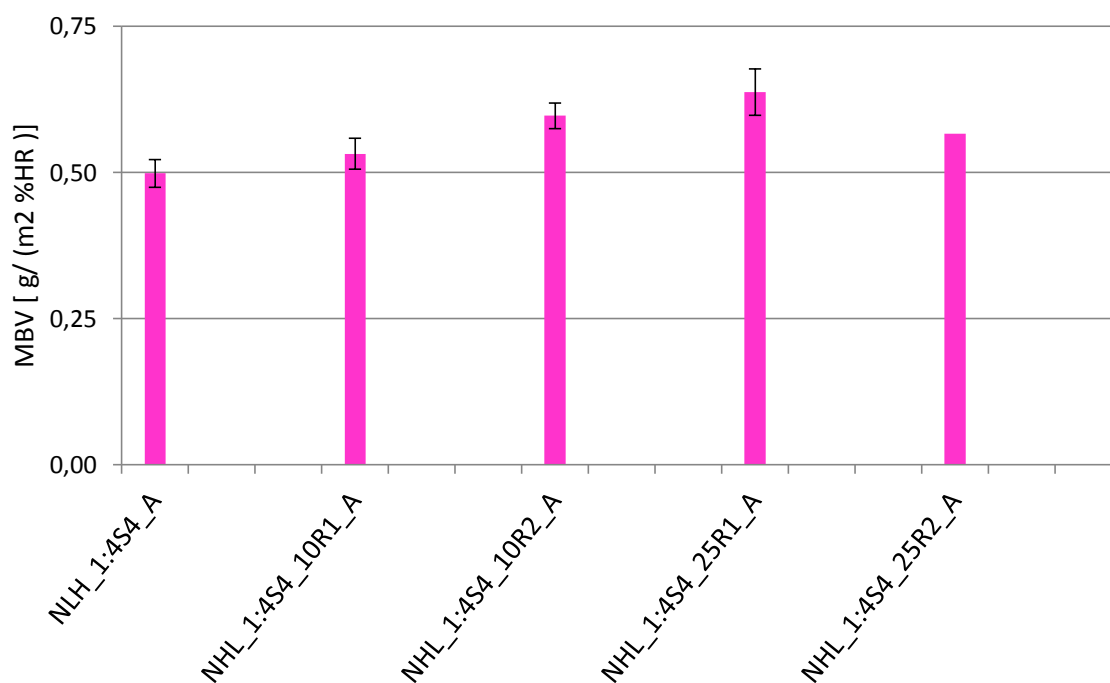


Figura 4.35 - Valores de MBV para as argamassas de traço 1:4 do Grupo 6.

A argamassa padrão, NHL_1:4S4_A insere-se na classe classificada com comportamento limitado, uma vez que tem MBV inferior a 0,5 g/(m².%H)R. Verifica-se que a adição dos resíduos cerâmicos leva a um aumento ligeiro do MBV da argamassa, alterando a classificação para a classe moderada.

Quando a adição dos resíduos é de 10% é o resíduo R2 que provoca um aumento maior do MBV; no entanto, quando a adição é maior, 25%, o resíduo R1 provoca um aumento mais acentuado do que o R2. Não é então possível dizer que um dos resíduos é melhor do que o outro para aumentar a capacidade de adsorção/desadsorção de vapor de água das argamassas, visto que a influência parece depender também da quantidade utilizada. O resíduo R1 promove melhores resultados quando é adicionado na quantidade de 25%; no entanto para o resíduo R2 obtêm-se melhores resultados com quantidade inferior (10%) e quando se aumenta a percentagem para 25%, o MBV decresce.

Através das figuras 4.34 e 4.35 pode ainda averiguar-se a influência do traço no MBV das argamassas, mais especificamente comparando os valores de MBV das argamassas NHL_1:3S4_10R1_A com a NHL_1:4S4_10R1_A. Verifica-se então que

A argamassa com traço volumétrico 1:3, ou seja, 1 parte de ligante para 3 de agregado apresenta MBV de 0,569 g/(m².%HR) que é ligeiramente mais elevado do que a de traço 1:4, com MBV de 0,532 g/(m².%HR).

Segundo estes resultados, em argamassas de cal hidráulica natural e areia, os traços com menor quantidade de agregado parecem ser mais benéficos para o MBV.

4.7. Resultados das argamassas do Grupo 7

Neste grupo apresentam-se, no quadro 4.8 e nas figuras 4.36 a 4.38, os resultados do ensaio para as argamassas de cimento, cal aérea e bastardas.

Quadro 4.8 - Dimensões, massas e área de exposição dos provetes do Grupo 7.

Argamassa	Dimensões (mm)						Área de exposição (mm ²)		Massa no equilíbrio (g)	
	L1		L2		H		Média	DP	Média	DP
	Média	DP	Média	DP	Média	DP				
C_1:4S5_D	39,96	0,30	40,07	0,18	22,47	1,07	1601,36	18,53	62,25	3,85
C+CL_1:1:6S5_D	40,14	0,18	40,12	0,25	21,55	0,36	1610,25	3,41	61,79	6,18
C+CL_1:3:12S5_D	40,11	0,23	40,13	0,14	19,75	1,75	1609,62	11,63	55,07	3,30
CL_1:2S5_D	39,86	0,17	39,96	0,20	19,92	0,66	1592,92	5,60	50,30	2,40

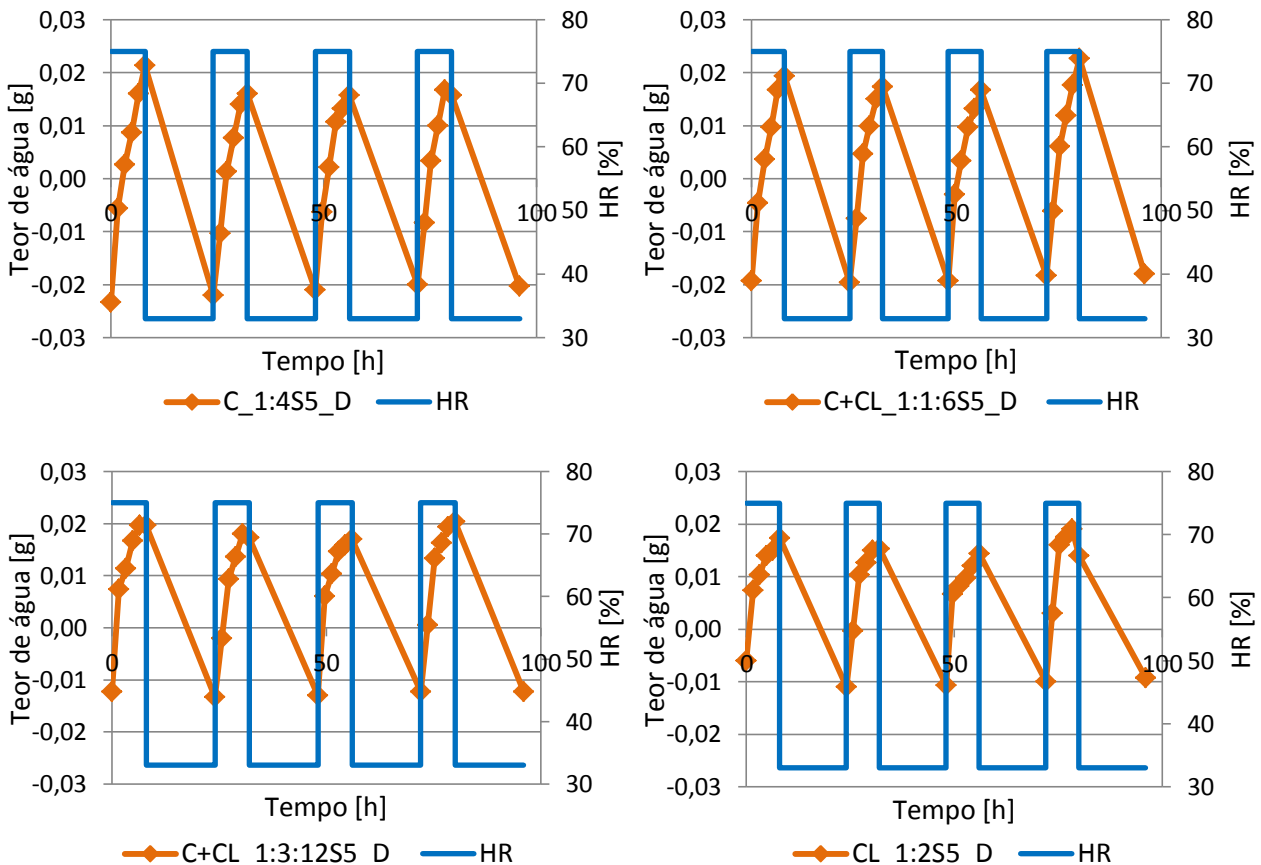


Figura 4.36 - Variação média do teor de água das argamassas C_1:4S5_D, C+CL_1:1:6S5_D, C+CL_1:3:12S5_D e CL_1:2S5_D com a alteração da HR ambiente entre 75% e 33%.

Neste grupo a tendência de aumento de massa verifica-se para a argamassa de cimento, mas nas argamassas bastardas e na de cal aérea a tendência inicial parece ser de diminuição ou manutenção da massa e só nos últimos ciclos se verifica um aumento.

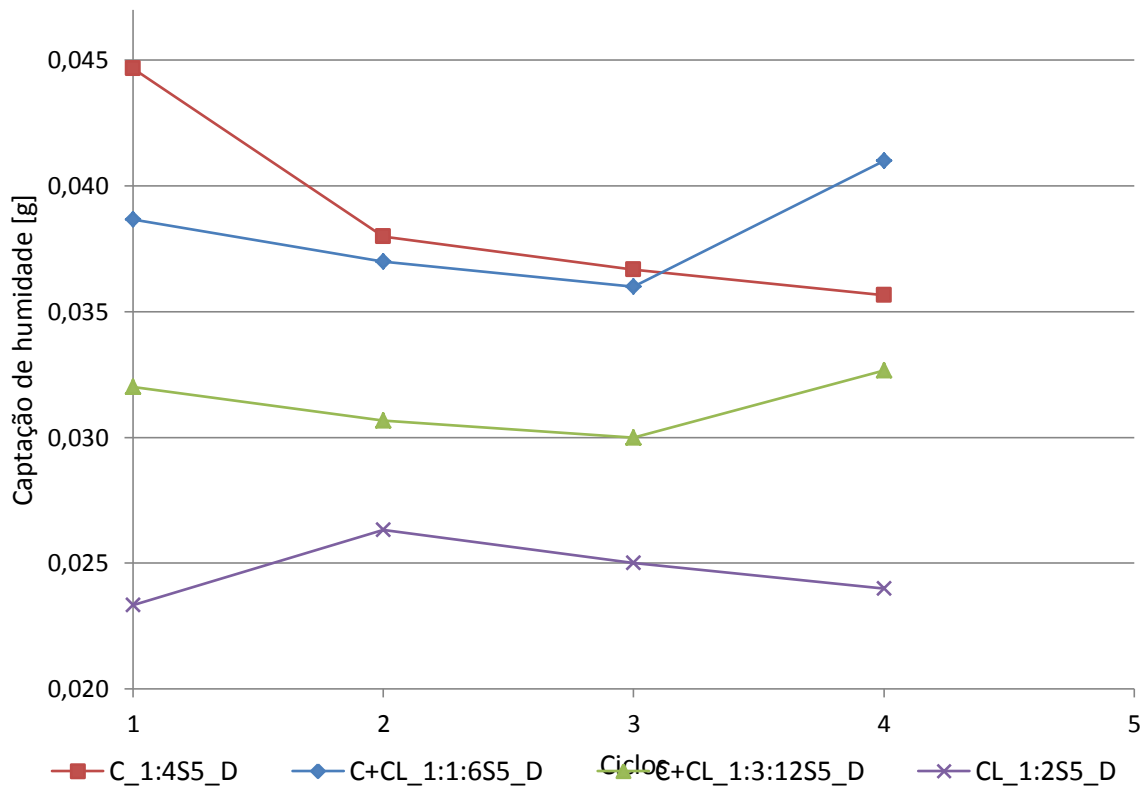


Figura 4.37 - Captação de humidade em cada ciclo para as argamassas do Grupo 7.

Na figura 4.37 é possível observar que a argamassa de cimento C_1:4S5_D sofre um decréscimo na captação de humidade. Nas argamassas bastardas é possível observar um comportamento idêntico: nos ciclos 2 e 3 há um decréscimo da captação de humidade mas no ciclo 4 o valor aumenta, atingindo o máximo de entre todos os ciclos. A argamassa de cal aérea ao traço volumétrico 1:2, CL_1:2S5_D, apresenta um aumento inicial na captação de humidade mas a partir do ciclo 3 verifica-se uma diminuição.

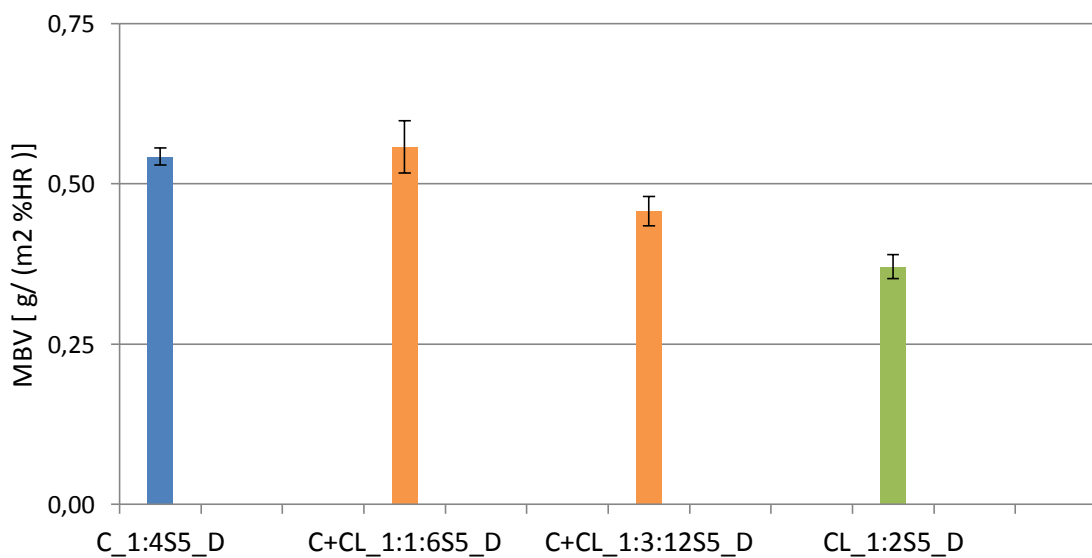


Figura 4.38 - Valores de MBV para as argamassas de traço 1:4 e 1:3 do grupo 7.

Pela análise da figura 4.38 observa-se que:

- A argamassa de cimento, C_1:4S5_D obtém classificação de moderado.
- A argamassa de cal aérea, CL_1:2S5_D classifica-se como de influência limitada no amortecimento da HR ambiente.
- Das argamassas bastardas a que apresenta maior MBV é a C+CL_1:1:6S5_D que é a que contém menor quantidade de cal aérea comparativa a quantidade de cimento. Esta classifica-se na classe do moderado enquanto que a argamassas bastarda com mais cimento, C+CL_1:3:12S5_D, encontra-se na classe do limitado.

5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo cruzam-se os resultados previamente apresentados de forma a efectuar uma comparação dos comportamentos das argamassas e sistemas analisados, para além disso efectua-se ainda uma comparação com outros estudos elaborados.

5.1. Comparação de comportamentos das argamassas e sistemas analisados

Neste capítulo observam-se de forma integrada os resultados de algumas das argamassas ensaiadas e analisadas por grupos autónomos no capítulo 4, de forma a comparar os comportamentos expectáveis.

A figura 5.1 contém os valores de MBV dos provetes dos grupos 3 e 4 e permite então avaliar a influência dos sulfatos na capacidade de amortecimento da HR.

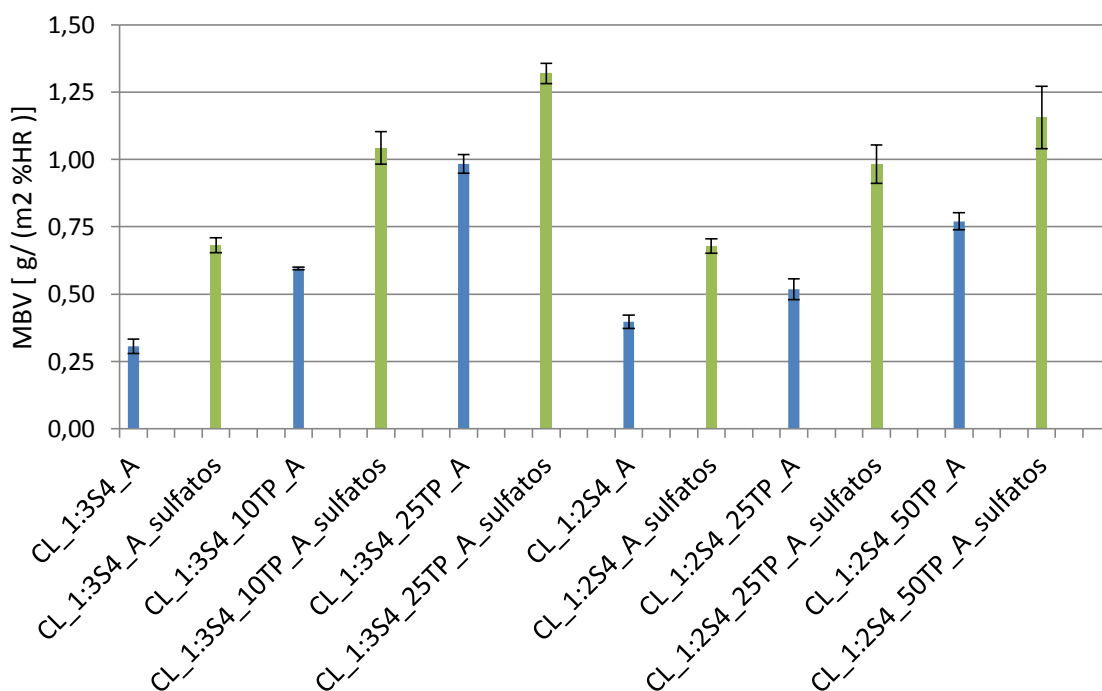


Figura 5.1 – Comparação dos valores de MBV entre as argamassas dos grupos 3 e 4.

Como era de esperar os provetes de argamassas contaminadas com sulfatos apresentam MBV sempre superior aos das argamassas equivalentes mas não contaminadas. Este facto estará provavelmente relacionado com a grande capacidade de adsorção de humidade que os sais solúveis higroscópicos apresentam quando comparados com outros materiais.

No entanto este aumento do MBV não é necessariamente positivo neste caso, visto que a existência de sais solúveis higroscópicos está muitas vezes associada à degradação dos materiais devido a ciclos de cristalização-dissolução sucessivos e às tensões que são desenvolvidas. Obviamente

não será propriamente interessante melhorar o MBV através da introdução de sais solúveis higroscópicos.

Na figura 5.2 podem observar-se os valores de MBV dos provetes dos grupos 3 e 5. Os provetes do grupo 3 são constituídos por argamassas individuais, permitindo uma análise ao nível do material, enquanto os do grupo 5 são constituídos por suporte (tijolo) associado a uma camada de argamassa, possibilitando uma análise ao nível do sistema.

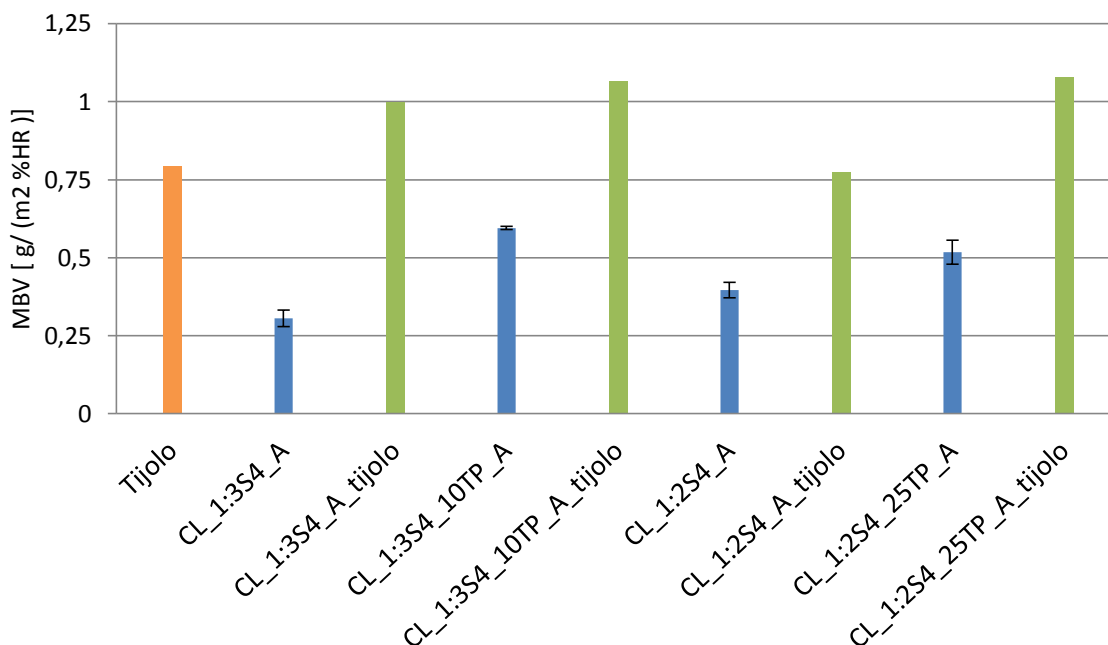


Figura 5.2 – Comparação dos valores de MBV entre as argamassas dos grupos 3 e 5.

No capítulo 4 já se tinha observado que o tijolo simples apresenta um MBV que o coloca na classe do moderado, e que quando ao tijolo é acrescentada uma camada de 2 cm de espessura de qualquer uma destas argamassas, o seu MBV aumenta, melhorando a sua capacidade de amortecimento da HR.

Comparando cada par de argamassa versus tijolo associado a argamassa verifica-se, para todos os casos, que os provetes compostos apenas por argamassa apresentam MBV bastante inferior aos provetes de argamassa associada ao suporte. A título de exemplo a argamassa CL_1:3S4_A tem classificação de limitado enquanto que o seu par, CL_1:3S4_A_tijolo, apresenta classificação de moderado, mas muito próxima do bom.

Estas diferenças nos valores podem resultar das várias variáveis: os provetes de argamassa têm uma área de exposição muito inferior aos provetes de argamassa associada ao suporte e esta influência não foi directamente explorada; quando se analisa o sistema de argamassa associado a tijolo a espessura em que o vapor de água pode penetrar é superior à dos provetes apenas de argamassa e essa variável também não foi directamente explorada; o conjunto de argamassa associado a tijolo, por associar dois elementos distintos, pode promover uma capacidade de adsorção de água diferente da argamassa simples, assim como pode promover alterações na microestrutura da argamassa que podem elas próprias alterar a capacidade higroscópica das argamassas (Dias, 2013; Jamú, 2013).

Esta análise permite concluir que uma análise ao nível do sistema conduz a resultados diferentes dos obtidos nas análises individuais, e tendo em conta que as soluções de sistema são as que mais se aproximam de casos reais, há todo o interesse em analisar estas.

Na figura 5.3 apresentam-se os valores de MBV de três argamassas de traço volumétrico 1:3 de cal aérea ou cal hidráulica natural e com a mesma areia S4. A cura a que os provetes foram sujeitos não foi igual para todos e, tal como anteriormente mencionado, verifica-se que a cura afecta o MBV. A argamassa NHL_1:3S4_St tem MBV inferior à NHL_1:3S4_H.

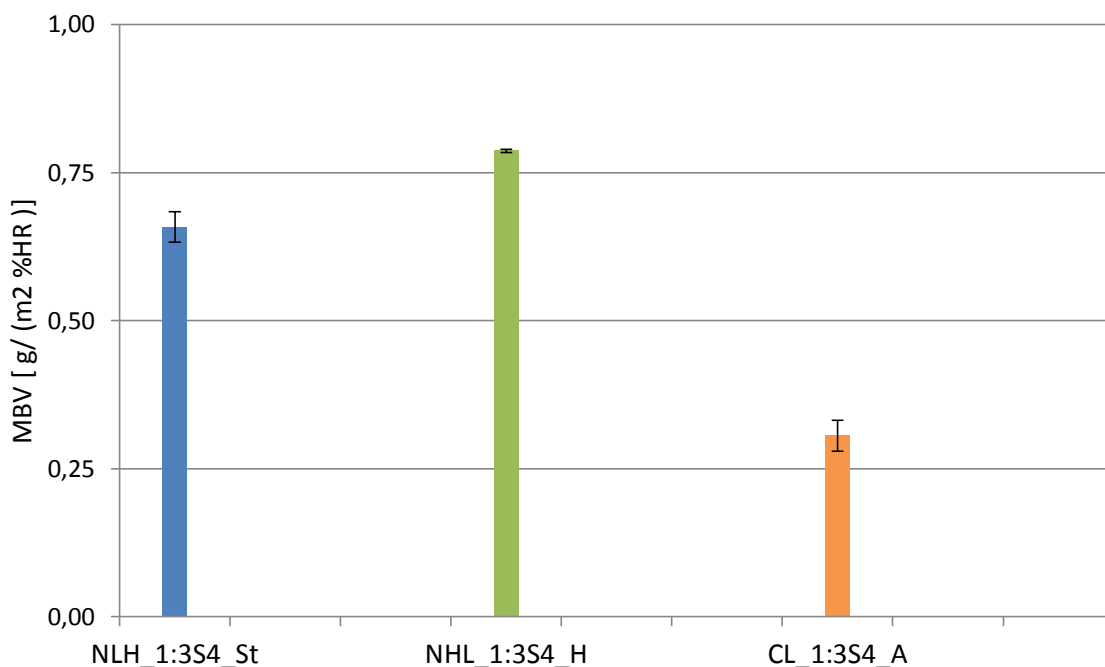


Figura 5.3 – Comparação dos valores de MBV para argamassas de diferentes ligantes.

A argamassa CL_1:3S4_A apresenta MBV inferior a ambas as argamassas de cal hidráulica natural e, apesar de as curas serem diferentes, a cura Standard apresenta algumas semelhanças à cura com aspersão inicial de água, pelo que se pode tentar uma comparação entre estas duas argamassas, se bem que não exacta. Nestas condições e analisando apenas argamassas com traços em volume comparáveis, verifica-se que a cal hidráulica natural indicia ser mais adequada quando se pretende maximizar o potencial de capacidade de adsorção de humidade das argamassas, comparativamente à cal aérea. No entanto, se efectuarmos uma análise dos traços em termos de massa, em vez de em volume, verifica-se que as argamassas de cal hidráulica natural correspondem a um traço em massa de 1:5, enquanto a de cal aérea corresponde a um traço em massa de sensivelmente 1:12. O facto da argamassa de cal aérea ser constituída proporcionalmente por muito mais areia siliciosa (em massa) comparativamente à de cal hidráulica natural pode justificar o facto anterior.

5.2. Comparação com estudos semelhantes

Não foram encontrados estudos em que se tenha utilizado o protocolo NORDTEST (Rode 2005) em argamassas, pelo que não é possível comparar os resultados obtidos nesta dissertação com outros resultados do mesmo ensaio para o mesmo tipo de materiais.

Rode et al. (2005) estudaram o MBV de alguns materiais incluindo um tijolo (área de exposição média $0,0127\text{m}^2$ e espessura 110 mm); os dados e resultados deste ensaio apresentam-se no quadro 2.1; o material foi ensaiado por três laboratórios distintos, com média de resultados obtidos de $0,477\text{ g}/(\text{m}^2.\%HR)$. O tijolo ensaiado no presente trabalho tinha área de exposição superior ($0,06\text{m}^2$) e espessura inferior (70mm) e o MBV obtido foi de $0,794\text{ g}/(\text{m}^2.\%HR)$ o que o coloca na classe de moderado.

Comparando com resultados obtidos por Correia (2013), que utilizou outro ensaio para a determinação da capacidade higroscópica, e que observou a ocorrência de efeito histerético com comportamentos distintos consoante os materiais analisados, observa-se que também no presente trabalho foi possível observar o efeito histerético nas argamassas, mais especificamente, através do aumento de massa ao longo dos ciclos, o que indicia um comportamento distinto na adsorção e desadsorção, levando a um armazenamento de algum teor de água no interior dos provetes. Tal como no estudo de Correia (2013) também na presente dissertação o efeito histerético foi distinto, consoante as argamassas analisadas, sendo mais pronunciado em alguns casos do que noutros, e até com comportamento oposto em alguns casos, verificando-se uma diminuição da massa ao longo dos ciclos. Não foi possível distinguir um padrão ou tendência em torno destas variações.

Tal como Correia (2013) também neste estudo foi possível observar a influência do traço volumétrico no comportamento higroscópico; neste caso, foi para os traços volumétricos com menor quantidade de agregado que se obtiveram os valores de MBV mais elevados.

5.3. Análise global de resultados

Apresenta-se no Quadro 5.4 um resumo dos valores de MBV que se obtiveram no presente estudo para cada argamassa, de forma a facilitar efectuar uma análise global dos resultados.

De uma forma geral verifica-se que são as argamassas com terra que obtêm valores de MBV mais elevados, e entre estas, são as que contêm adição de fibras, na percentagem de 40%, que tem os valores mais altos. Por outro lado, as argamassas com valores de MBV mais baixos são as de cal aérea enquanto as de cal hidráulica e cimento obtêm resultados intermédios.

O protocolo de teste utilizado, NORDTEST, estipula condições de temperatura de 23°C e humidade que varia entre ciclos de 33% ou 75%. A classificação das argamassas apresentada neste protocolo, face à sua capacidade de amortecimento da HR ambiente, está directamente ligada com as condições de temperatura e humidade para as quais o ensaio é realizado. Ou seja, se as condições médias de temperatura e humidade que se observam no nosso País forem significativamente distintas destas, a classificação sugerida pelo protocolo de teste NORDTEST poderá não ser a mais adequada. Por exemplo, para ambientes em que a HR se mantêm em valores elevados durante todo o dia, ou seja, nunca chegando a atingir valores baixos como 33%, os rebocos altamente higroscópicos poderão não ser benéficos, uma vez que se vão manter húmidos em permanência, porque não há um ciclo de baixa

humidade que lhes permita libertar o excesso de humidade. Este facto poderá proporcionar o desenvolvimento de fungos ou bolores, caso os rebocos tenham essa tendência. Essa análise da propensão para o desenvolvimento biológico nas argamassas de reboco interior deverá ser analisada em estudos futuros.

Quadro 5.4 – Valores de MBV em $g/(m^2\%HR)$ para todas as argamassas.

Argamassa	MBV	Argamassa	MBV	Argamassa	MBV
TA_1:3S1_L	1,15	TC_100F	3,59	CL_1:3S4_10TP_2FO_A	0,64
PreDos_L	1,59	TC_120FT_L	3,68	CL_1:3S4_A_sulfatos	0,68
TA_1:3S1_L	1,15	TP_1:3S3_HD	1,96	CL_1:3S4_10TP_A_sulfatos	1,04
TB_1:3S1_L	2,74	TP_1:3S3+5F_HD	1,98	CL_1:3S4_25TP_A_sulfatos	1,32
TB_1:2S2_L	2,74	TP_1:3S3_5CL_HD	2,74	CL_1:2S4_A_sulfatos	0,68
TB_1:3S2_L	2,36	TP_1:3S3_10CL_HD	1,67	CL_1:2S4_25TP_A_sulfatos	0,98
TB_1:4S2_L	2,24	TP_1:3S3_15CL_HD	2,19	CL_1:2S4_50TP_A_sulfatos	1,16
TB_1:2S2_5NHL_L	2,57	TP_1:3S3_5CL+5F_HD	2,00	CL_1:3S4_A_tijolo	0,79
TB_1:1Cortiça_L	2,68	TP_1:3S3_10CL+5F_HD	2,62	CL_1:2S4_A_tijolo	1,00
TC_1:2S2_L	1,76	TAV_HD	2,04	CL_1:3S4_10TP_A_tijolo	1,06
TC_1:3S2_L	1,64	TPD_1:1,5S3_HD	1,60	CL_1:2S4_25TP_A_tijolo	0,77
TE_1:3S1_L	1,45	TVC_1:3S3_HD	1,29	Tijolo	1,08
TE_1:2S2_L	1,34	CL_1:3S4_A	0,31	NHL_1:3S4_H	0,79
TE_1:3S2_L	1,12	CL_1:3S4_5TP_A	0,44	NHL_1:3S4_5R1_A	0,57
TE_1:2S2+TE_1:1,5sf_L	1,38	CL_1:3S4_10TP_A	0,60	NHL_1:3S4_10R1_A	0,57
TE_1:3S2+TE_1:2sf_L	1,31	CL_1:3S4_15TP_A	0,76	NHL_1:3S4_5R1+5Mk_A	0,71
TB_1:1S1/S2_20FT_L	3,20	CL_1:3S4_25TP_A	0,98	NHL_1:3S4_5R1+10Mk_A	0,76
TB_1:3S1/S2_20FT_L	2,34	CL_1:2S4_A	0,40	NHL_1:3S4_10R1+10Mk_A	0,77
TB_1:3S1/S2_40FT_L	2,36	CL_1:2S4_5TP_A	0,36	NLH_1:3S4_St	0,66
TC_1:1S1/S2_20FT_L	2,47	CL_1:2S4_10TP_A	0,36	NLH_1:4S4_A	0,50
TC_1:3S1/S2_40FT_L	1,94	CL_1:2S4_25TP_A	0,52	NHL_1:4S4_10R1_A	0,53
TB_40FT_L	4,66	CL_1:2S4_50TP_A	0,77	NHL_1:4S4_10R2_A	0,60
TB_60FT_L	4,33	CL_1:2S4_25TP_9,2FA_A	0,66	NHL_1:4S4_25R1_A	0,64
TB_80FT_L	4,34	CL_1:3S4_10TP_10,4FA_A	0,70	NHL_1:4S4_25R2_A	0,57
TB_100FT_L	4,16	CL_1:2S4_25TP_5FC_A	0,68	C_1:4S5_D	0,54
TC_40FT_L	4,02	CL_1:2S4_25TP_3,5FO_A	0,69	C_CL_1:1:6S5_D	0,56
TC_60FT_L	3,75	CL_1:2S4_25TP_1,7FO_A	0,68	C_CL_1:3:12S5_D	0,46
TC_80FT_L	3,75	CL_1:3S4_10TP_3,9FO_A	0,65	CL_1:2S5_D	0,37

O protocolo de teste utilizado, Nordtest, define a utilização de ciclos de variação de humidade de 75% ou 33% à temperatura constante de 23°C, de forma a representar as condições observadas no interior das habitações. Não se encontraram dados das condições médias de temperatura e humidade das habitações em Portugal, so se encontraram das condições exteriores. Então, por análise da figura 5.4, que apresenta valores de temperatura e humidade de algumas cidades de Portugal, verifica-se que nas cidades de Bragança, Porto, Beja e Ponta Delgada os valores médios de HR às 9 horas apresentam valores sempre superiores a 80% e que raramente se visualizam valores de HR próximos dos 35%. Para além disso, verifica-se ainda que na maioria dos casos a variação de humidade entre as

9 e as 18 é pequena, como se pode confirmar no caso da cidade de Lisboa, onde ao longo de todo o ano a humidade relativa às 9 e 18 apresenta uma variação na ordem dos 20%; por exemplo: 70% a 90% nos meses de inverno (Janeiro, Fevereiro, Novembro Dezembro), e 50% a 70% no mês de Agosto).

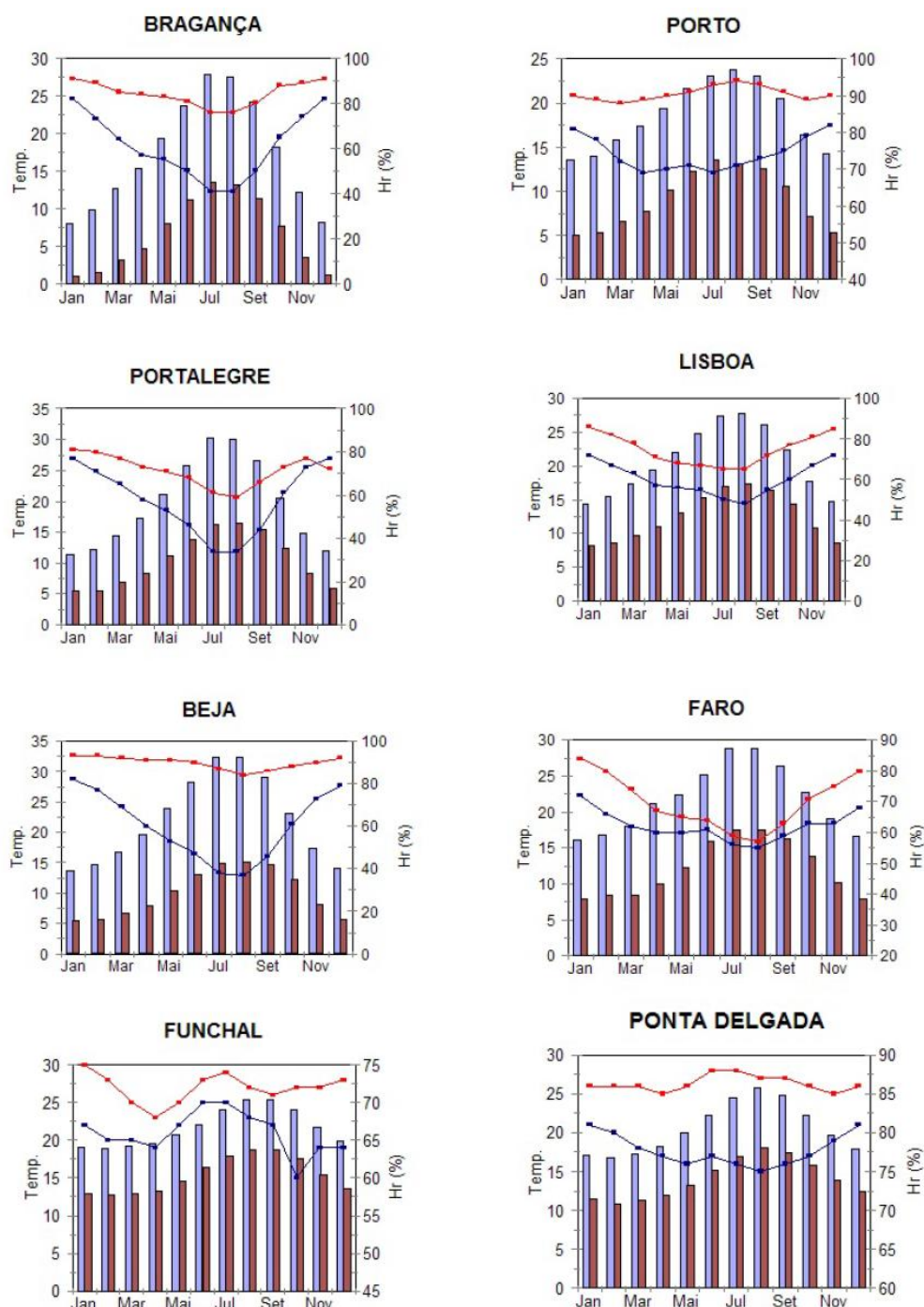


Figura 5.4 – Temperaturas máximas e mínimas mensais e HR média às 9 e 18 horas para várias cidades de Portugal [Henriques 2011].

No entanto, interessava analisar quais as temperaturas e HR verificadas no interior das habitações, uma vez que a ventilação e os sistemas de aquecimento utilizados podem alterar de forma significativa as condições do ambiente interior. Por exemplo, numa habitação com aquecimento central e regulação de

temperatura para $20 \pm 1^\circ\text{C}$ (que não representará a maioria das habitações), a HR interior no período de aquecimento pode baixar bastante, atingindo valores semelhantes aos do protocolo de teste NORDEST, enquanto em habitações não aquecidas (pelo menos em contínuo) a humidade relativa ambiente será mais alta. No primeiro caso, os rebocos higroscópicos serão eficientes; neste último caso, os rebocos altamente higroscópicos podem não ser benéficos, uma vez que a sua atuação para a regulação de humidade interior pode eventualmente despoletar condições propícias para o desenvolvimento de fungos e bolores. O que poderá acontecer nestes casos, de habitações com humidades relativas interiores sempre elevadas, é que os rebocos apenas adsorvem, não existindo um ciclo de baixa humidade no qual libertem a humidade adsorvida. Consequentemente, os rebocos podem estar sujeitos a desenvolvimento de fundos devido ao elevado teor de água que contem.

6. CONCLUSÕES

6.1. Considerações finais

A campanha experimental da presente dissertação surgiu com o objectivo de avaliar o comportamento higroscópico de argamassas de reboco para utilizações no interior, de forma a perceber se estas podem, efectivamente, contribuir para o amortecimento das variações de HR segundo o estabelecido no Protocolo de teste NORDTEST. É importante focar que as classificações obtidas através deste protocolo de teste, relativamente à capacidade de regulação da HR interior, são específicas para ambientes com condições de temperatura e humidade relativa semelhantes às propostas pelo procedimento de ensaio (23°C, 33% e 75% de HR). Ressalta-se o facto de, em Portugal, a maioria das condições interiores poder ser substancialmente distinta destas definidas pelo procedimento de ensaio seguido (devido a, no Inverno, se registarem no exterior temperaturas superiores às registadas nos países do Norte da Europa, e no interior muitas vezes temperaturas inferiores, devido à reduzida existência e funcionamento de equipamentos de aquecimento) e, como tal, as argamassas com mais elevada higroscopicidade poderem eventualmente não ser as mais adequadas, por exemplo se a adsorção de HR lhes propiciar o desenvolvimento de fungos e bolores.

Tal como referido anteriormente, esta dissertação encontra-se inserida nos projectos QREN nº 2011/021586 - Parede Ecoestrutural. A campanha experimental inclui várias argamassas, abrangendo terras, ligantes minerais, areias, fibras e adições finas variadas. Para além disso foi ainda possível analisar soluções ao nível de sistema, compostas por conjuntos de elementos habitualmente utilizados e observados em situações reais.

Finalizada a campanha experimental considera-se que os objectivos foram cumpridos.

Interessa salientar os seguintes pontos que exprimem as principais conclusões obtidas:

- Os valores de MBV mais elevados foram obtidos com os traços com menor quantidade de agregado, ou seja, são estes traços com maior teor em ligante que optimizam a capacidade de regulação da HR interior das argamassas. Isto verifica-se para todas as argamassas estudadas.

- De um modo geral as argamassas que utilizam terra como ligante (aglomerante) apresentam resultados de MBV bastante mais elevados do que as restantes argamassas. Estas argamassas incluem-se todas na classe de bom ou superior na classificação quanto à sua capacidade de regulação da HR interior.

- O tipo de terra utilizado afecta o MBV obtido. De entre as terras utilizadas aquela que promove valores mais elevados de MBV no Grupo 1 é a terra TB, seguida das TC, TE, TA, em ordem decrescente da capacidade de regulação da HR ambiente, e no Grupo 2 é a terra TP que obtém melhores resultados. Quanto às restantes terras do grupo 2 não foi possível efectuar comparação directa, de forma a averiguar qual a que optimiza a higroscopicidade das argamassas devido à falta de argamassas comparáveis, ou seja com terras diferentes mas traços iguais. É apenas possível verificar que a TP obtém melhores resultados que a TVC.

- O agregado utilizado em argamassas de terra afecta o MBV; das areias utilizadas em argamassas de terra, a que promove melhores resultados é a areia siliciosa com argila (S1) seguida da areia siliciosa lavada (S2).

- A adição de cal hidráulica natural NHL5 em pequenas percentagens em argamassas de terra causa diminuição ligeira do MBV.

- A adição de cal aérea em argamassas de terra parece promover aumento no MBV quando em pequena quantidade, 5%, mas se adicionada em quantidades superiores, 10% ou 15%, agrava os resultados.

- A adição de granulado de cortiça em argamassas não parece promover alteração significativa no MBV das argamassas; no entanto esta questão necessita de aprofundamento pois não foi possível efectuar uma comparação precisa por inexistência de argamassa de referência.

- Nas terras TB e TC verifica-se que a adição de fibras de palha de trigo cortadas na percentagem de 40% em relação ao volume da terra parece ser a que optimiza o MBV para valores mais elevados. Nas argamassas com adições superiores a 40% os valores de MBV sofrem um decréscimo tanto maior quanto maior a percentagem de fibras.

- A adição de fibras de cânhamo em pequenas quantidades (5%) em argamassas de terra promove um aumento muito ligeiro do MBV.

- A adição de fibras de cânhamo em pequenas quantidades (5%) em argamassas de terra com adições de cal aérea não apresenta uma tendência notável. Quando a adição da cal aérea é de 5% verifica-se um decréscimo do MBV; no entanto, quando a adição é maior, 10%, regista-se um aumento do MBV.

- Nas argamassas de cal aérea a substituição de areia fina por terra argilosa promove aumento no MBV crescente com o incremento da percentagem de terra adicionada (5%, 10%, 15%, 25%). Estas substituições conseguem alterar a classificação das argamassas da classe de limitado para a de moderado. Quando a terra entra em substituição parcial do agregado mais fino verificam-se melhorias menos acentuadas e apenas para percentagens mais elevadas (25% e 50%).

- A adição de fibras diversas (fibras de casca de arroz, resíduo de lã de ovelha e crina de cavalo) em argamassas de cal aérea e terra promove um aumento ligeiro no MBV.

- A adição de Mk em argamassas de cal hidráulica natural NHL3.5 promove o aumento do MBV, crescente com a percentagem adicionada.

- A adição de resíduos cerâmicos em argamassas de cal hidráulica natural NHL3.5 promove aumento no MBV das argamassas; no entanto, de entre os dois resíduos estudados (R1 e R2) não é possível indicar qual optimiza a capacidade de regulação da HR visto que, consoante a percentagem de adição dos resíduos, um ou o outro demonstram alternativamente melhores resultados.

- As amostras de argamassas contaminadas com sulfatos têm valores de MBV superior às não contaminadas; no entanto este aumento do MBV não é, neste caso, benéfico para os materiais, visto que os sais solúveis higroscópicos estão frequentemente associados à deterioração sua devido a ciclos de cristalização-dissolução sucessivos e tensões associadas.

- A aplicação de camadas de acabamento afecta o MBV dos provetes de argamassas de terra. Nos casos em que se aplicaram camadas de acabamento, de constituições semelhantes mas delgadas e com areia mais fina, os valores de MBV registaram melhorias. As argamassas das camadas de

acabamento utilizadas tinham traços com menor quantidade de agregado do que as argamassas de base de cada um dos provetes. Visto que são as argamassas de traços com menor quantidade de agregado que obtêm MBV mais elevados, pode ser essa a causa desta melhoria; no entanto não se deve por de parte a variável do agregado da argamassa de acabamento ser mais fino do que o da camada de base, o que pode também influenciar o MBV, e ainda, o aumento de espessura nos provetes devido à espessura adicional da camada de acabamento.

- O tipo de cura afecta os resultados obtidos neste ensaio, uma vez que esta afecta a microestrutura e a própria constituição das argamassas. Provetes submetidos a cura húmida obtêm MBV mais elevado do que provetes que foram submetidos a cura Standard.

- As soluções de sistema, constituídas por argamassas associadas a um suporte, conduzem a resultados diferentes daqueles que se obtiveram nas análises individuais das argamassas. Os valores de MBV do suporte isolado (tijolo) e das argamassas foram sempre inferiores àqueles que se obtiveram quando se ensaiaram os materiais em conjunto. Tendo em conta que as soluções de sistema são aquelas que mais se aproximam da realidade, no limite devem ser estas as estudadas para aferir quais os valores de MBV mais aproximados dos reais. Existem várias hipóteses para a explicação das diferenças nos resultados: a área de exposição das argamassas foi inferior à das soluções de sistema; as soluções de sistema analisadas possuíam espessura superior à dos provetes de argamassas; a associação de dois elementos pode provocar um comportamento distinto daqueles que se verificam nos materiais isolados.

Quanto à análise da captação de humidade e das variações de argamassas:

- A evolução da captação de humidade das argamassas estudadas é bastante variada. Por exemplo no grupo 1 verifica-se uma tendência geral de diminuição de captação de humidade, mas no grupo 2 existem argamassas para as quais a captação de humidade aumenta e outras em que se mantêm constante. Ao longo do trabalho continuaram a verificar-se comportamentos distintos nas argamassas.

- Outro comportamento que é bastante variável é o aumento /diminuição de massa dos provetes ao longo dos ciclos. Para algumas argamassas verifica-se efectivamente um aumento de massa ao longo dos ciclos, tal como indicado por Rode (2005), mas noutras existe a tendência contrária.

Segundo Rode (2005) a tendência de aumento de massa deve-se à alteração das condições climáticas médias que, até estabilizarem, sofrem algumas alterações nos primeiros ciclos. No entanto, este aumento de massa dos provetes, devido a um possível armazenamento de algum teor de humidade no seu interior, poderá causar a diminuição da capacidade de captação de humidade.

Face aos resultados bastante diversos entre as argamassas estudadas não é possível avaliar para já se estes fenómenos de histerese poderão afectar a capacidade de amortecimento da HR ambiente das argamassas.

6.2. Desenvolvimentos futuros

Este trabalho suscitou inúmeras questões e ideias para desenvolvimentos futuros, tanto ao nível dos materiais utilizados como ao procedimento de ensaio em si. Em seguida enumeram-se algumas das propostas de desenvolvimentos futuros:

- Fazer um estudo mais extenso da influência dos diferentes materiais no MBV das argamassas. Apesar de este estudo ter abrangido um elevado número de argamassas, ainda assim não foi possível uma comparação directa entre muitas delas. Por exemplo interessa aprofundar a influência dos vários tipos de ligantes e agregados.

- Efectuar o ensaio com provetes com dimensões pré-definidas e sempre iguais, tanto ao nível da área de exposição como da espessura. O facto de este ensaio ter sido efectuado com provetes com dimensões distintas pode condicionar a comparação entre alguns valores. Tal podia ser realizado efectuando-se o ensaio com os seguintes exemplares: provetes de base com área de exposição e espessura constantes; provetes com área de exposição superior e inferior aos de base, mantendo a espessura constante; provetes com espessura superior e inferior aos de base, mantendo a área de exposição constante.

- Estudar a influência do tipo de cura no comportamento higroscópico das argamassas. Apesar de neste estudo se ter verificado que o tipo de cura afecta a capacidade de adsorção de humidade, só foi possível comparar dois tipos de curas (standard e húmida); seria interessante estudar outras hipóteses de cura de forma a verificar qual seria a mais aconselhada para a optimização desta característica, em cada tipo de argamassas de reboco, como se poderia aproximar a cura em obra dessa cura óptima e em que medida este factor pode ter importância.

- Avaliar o comportamento de sistemas, ou seja, tentar replicar as condições existentes em casos reais efectuando provetes compostos por conjuntos de elementos, tais como: suportes (tijolo, adobe, elementos estruturais, etc.), reboco constituído por camadas múltiplas de argamassas, camadas de acabamento (sistemas de pintura com leites de cal, tintas, velaturas e vernizes).

- Efectuar um ensaio a longo prazo para avaliar se a capacidade de amortecimento da HR dos materiais se mantém ou sofre decréscimo devido a um possível comportamento histerético.

- Uma vez que se verificou que o tipo de terra influencia significativamente o MBV seria interessante efectuar um estudo dos minerais de argila das diferentes terras. Os minerais de argila possuem diferentes capacidades de adsorção de humidade e, nesse caso, torna-se importante conhecer a composição mineralógica das terras para verificar de que forma esses minerais influenciam os diferentes comportamentos higroscópicos.

- Os ciclos de alta e baixa HR definidos no protocolo de teste Nordtest (Rode et al. 2005) pretendem simular as condições verificadas no interior das habitações; no entanto este protocolo foi elaborado pela Universidade Técnica da Dinamarca e tem sido maioritariamente utilizado em países do Norte da Europa. As condições de temperatura e humidade por ele definidas podem não ser semelhantes às que se verificam no interior dos edifícios de habitação no nosso país. Seria interessante analisar as condições médias de temperatura e HR que se registam nas habitações do país de forma a verificar se são semelhantes às utilizadas no ensaio e, caso não o sejam, averiguar se a diferença poderá influenciar o comportamento higroscópico das argamassas.

BIBLIOGRAFIA

- ABADIE, M; MENDONÇA, K. (2009) – *Moisture performance of building materials: from material characterization to building simulation using the Moisture Buffer Value concept*. Building and Environment 44, 388-401.
- ASTM International (2004) – *Standard test method for hygroscopic sorption isotherms of building materials*, C 1498:04.
- BANDEIRA, A. (2012) – *Caracterização de argamassas de cal aérea e de cal hidráulica natural com metacaulino*. Evolução com a idade. Dissertação de Mestrado. FCT-UNL. Lisboa.
- BARONE, J; SCHMIDT, W. (2005) – *Polyethylene reinforced with keratin fibers obtained from chicken feathers*. Composites Science and Technology 65, 173-181.
- BORNEHAG, C.-G; BLOMQUIST, G; GYNTELBERG, F; JARVHOLM, B; MALMBERG, P; NORDVALL, L; NIELSEN, A; PERSHAGEN, G; SUNDELL, J. (2001) – *Dampness in Buildings and Health*. Nordic Interdisciplinary Review of the Scientific Evidence on Associations between Exposure to “Dampness” in Buildings and Health Effects (NORDDAMP). Indoor Air 11, 72-86.
- BOTAS, S. (2009) – *Avaliação do comportamento de argamassas em climas frios*. Dissertação de Mestrado. FCT-UNL. Lisboa.
- BOUHICHA, M; AOUISSI, F; KENAI, S. (2005) – *Performance of composite soil reinforced with barley straw*. Cement and Concrete Composites 27, 617-621.
- CEROLINI, S; ORAZIO, M; PERNA, C; STAZI, A. (2009) – *Moisture buffering capacity of highly absorbing materials*. Energy and Buildings 41, 164-168.
- CORREIA, J. (2013) – *Avaliação da higroscopicidade de materiais correntes*. Dissertação de Mestrado. FCT-UNL.
- DECRETO-LEI nº 80/2006 “D.R Série A” 67 (04/04/2006), 2468-2513.
- DIAS, I. (2013) – *Desenvolvimento e caracterização de argamassas de cal aérea e terra. A influência da terra como agregado parcial*. Dissertação de Mestrado. FCT-UNL.
- FARIA, P. (2004) – *Argamassas de revestimento para alvenarias antigas. Contribuição para o estudo da influência dos ligantes*. Tese de Doutoramento. FCT-UNL.
- FARIA, P. (2012a) – *Argamassas sustentáveis*. 2ª CRSEEL - Conferencia Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono, FCT-UNL (CD).
- FARIA, P. (2012b) – *A cal na composição e conservação dos revestimentos*. XI Congresso Internacional de Reabilitação do Património Arquitectónico e Edificado, Cascais.
- FARIA, P. (para publicação) – *Rebocos de terra. Janela de oportunidades*. Seminário e workshop. FCT UNL.
- FARIA, P; SILVA, V; DIAS, I; JAMU, N; SANTOS, P. (2012c) – *Vantagens da utilização de terra argilosa e fibras naturais em argamassas de cal aérea*. 2º CIHEL - Congresso Internacional da Habitação no Espaço Lusófono, Lisboa, LNEC, 363-364.

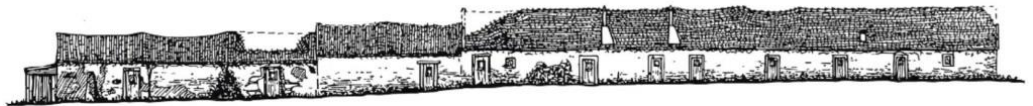
- FARIA, P; SILVA, V; FLORES-COLEN, I. (2012d) – *Argamassas de cal hidráulica natural e pozolanas artificiais: avaliação laboratorial*. 4º Congresso Português de Argamassas de Construção. APFAC. Coimbra.
- FARIA-RODRIGUES, P.; HENRIQUES, F. M. A. (2004) – *Current mortars in conservation: an overview*. Aedificato Publishers. Int. J. for Restoration of Buildings and Monuments, vol.10, nº 6,609-622
- FONTES, T. (2013) – *Argamassas de cal hidráulica natural NHL3.5 de fabrico nacional*. Dissertação de Mestrado. FCT-UNL.
- FONTES, T.; FARIA, P.; SILVA, V. (2012) – Caracterização de argamassas de cal hidráulica natural com metacaulino e resíduo cerâmico. CONSTRUÇÃO 2012 - 4º Congresso Nacional de Construção, Universidade de Coimbra (CD).
- GAMEIRO, A; SILVA, A; FARIA, P; BRANCO, T; VEIGA, R; VELOSA, A. (2013) – Physical and chemical assessment of lime-metakaolin mortars: Influence of binder:aggregate ratio. Cement and Concrete Composites (<http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.06.010>).
- GHAVAMI, K; FILHO, R; BARBOSA, N. (1999) – *Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres*. Cement and Concrete Composites 21, 29-48.
- GOMES, C. (1988) – *Argilas – O que são e para que servem*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- GOMES, M; FARIA, P; GONÇALVES, T. (2009) – *Construções de Terra, Causas de degradação*. Conferência Internacional PATORREB2009, Porto, 205-210.
- GOMES, M; GONCALVES, T; FARIA, P. (2012a) – *Earth-based repair mortars: Experimental analysis with different binders and natural fibers*. Rammed Earth Conservation, Mileto, Vegas & Cristini (eds.), 661-668.
- GOMES, M; GONCALVES, T; FARIA, P. (2012b) – *Análise experimental de argamassas de terra com cais e fibras naturais*. 4º Congresso Português de Argamassas, Universidade de Coimbra, Paper 38 (CD).
- GONÇALVES, T; DELGADO-RODRIGUES, J. (2006) – *Evaluating the salt content of salt-contaminated samples on the basis of their hygroscopic behavior. Part I: Fundamentals, scope and accuracy of the method*. J. Cultural Heritage 7, 79-84.
- GONÇALVES, F. (2013) – *Optimização de argamassas de cal hidráulica com comportamento térmico melhorado*. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Setúbal. GRILO, J. (2013) – *Caracterização de argamassas de cal hidráulica natural de NHL3.5 de fabrico nacional*. Dissertação de Mestrado. FCT-UNL.
- GRILO, J; SILVA, A; FARIA, P; GAMEIRO, A; VEIGA, R; VELOSA, A. (2013) – Mechanical and mineralogical properties of natural hydraulic lime-metakaolin mortars in different curing conditions. Construction and Building Materials (<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.045>).
- HENRIQUES, F. (2007) – *Humidade em paredes*. Lisboa, LNEC.
- HENRIQUES, F. (2011) – *Comportamento higrotérmico de Edifícios*. Caparica, UNL-FCT.
- HENRIQUES, F; FARIA-RODRIGUES, P. (2006) – *Argamassas de substituição na conservação do património*. Construção Magazine 16, 38-45.
- HENRIQUES, F; FARIA, P. (2008) – *O papel da investigação no estudo das argamassas de substituição na conservação do património*. Revista Engenharia Civil – Universidade do Minho 31, 29-37.

- IPQ (2011). NP EN 459-1 – *Cal de construção. Parte 1: definições, especificações, critérios de conformidade*. Lisboa, Instituto Português da Qualidade.
- ISO (2000). ISO 12571:2000 – Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of hygroscopic sorption properties. International Standard Organization.
- ISO (2005). ISO 7730:2005 – Ergonomics of thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal Comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal Comfort criteria. International Standard Organization.
- ISO (2013). ISO 12571:2013 – Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of hygroscopic sorption properties. International Standard Organization.
- JAMÚ, N. (2013) – *Desenvolvimento e caracterização de argamassas de cal aérea e terra. A influência da terra como ligante*. Dissertação de Mestrado. FCT-UNL.
- LIMA, J. (2013) – *O contributo das argamassas de barro para a qualidade do ambiente interior dos edifícios: o caso das argilas do sotavento algarvio*. 2º Congresso Internacional da Habitação no Espaço Lusófono, Lisboa, LNEC (CD).
- MADEIRA, T. (2013) - Argamassas de cal hidráulica natural NHL3.5 com resíduo cerâmico. Dissertação de Mestrado. FCT-UNL.
- MARTINS, A. (2008) – *Estudo da influência da dosagem de cimento no desempenho de argamassas de reboco*. Dissertação de Mestrado. IST-UTL.
- MARTINS, M. (2010) – *Comportamento físico de argamassas de reboco com regranulado negro de cortiça*. Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa.
- MCGREGOR, F; HEATH, A; AYRE, G; FODDE, G; WALKER, P. (2012) – *The effect of stabilisation on humidity buffering of earth walls*. 4th International Conference on Building with Earth, Department of Architecture and Civil Engineering, University of Bath, UK. 73-79.
- PEIXOTO, A; VIERA, J; PAIVA, A; FERNANDES, L; TAVARES, P; MORAIS, J; OLIVEIRA, D; CALDEIRA, F; VARUM, H; CUNHA, V; PINTO, J. (2012) – *Argamassa de reboco reforçada com resíduos da indústria têxtil do tipo fio*. 4º Congresso Português de Argamassas, Universidade de Coimbra (CD)
- PEREIRA, T. (2008) – *Optimização das características de humedecimento e secagem de argamassas*. Dissertação de Mestrado. FCT-UNL.
- PONTES, J; SILVA, A; FARIA, P. (2012) – Contributos para a melhoria da durabilidade e sustentabilidade de argamassas e betões – avaliação da reactividade de pozolanas artificiais. CONSTRUÇÃO 2012 - 4º Congresso Nacional de Construção, Universidade de Coimbra (CD).
- PRABAKAR, J; SRIDHAR, R. (2002) – *Effect of random inclusion of sisal fibre on strength behaviour of soil*. Construction and Building Materials 16, 123-131.
- RAMOS, N. (2007) – *A importância da inércia higroscópica no comportamento hidrotérmico dos edifícios*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- RODE, C; PEUHKURI, R; LONE, H; TIME, B; GUSTAVSEN, A; OJANEN, T; AHONEN, J; SVENNERBERG, K; HARDERUP, L; ARFVIDSSON, J. (2005) – *Moisture buffering of building materials*. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark.
- RUSKULIS, O. (2005) - *Pozzolanas: An introduction*. Building Advisory Service and Information Network.

- SAMPAIO, E. (2006) – *Mineralogia do solo*. Departamento de Geociências da Universidade de Évora. Disponível em <http://home.dgeo.uevora.pt/~ems/files/Anexo%20B-03.pdf>, consultado em 22/08/2013.
- SANTOS, P. (em execução) - Argamassas de cal aérea e terra. Influência da composição e tipo de fibra natural. Dissertação de Mestrado. FCT-UNL.
- SILVA, S.P; SABINO, M.A; FERNANDES, E.M; CORRELO, V.M; BOESEL, L.F; REIS, R.L. (2005) – *Cork: properties, capabilities and applications*. International Materials Reviews, 50(6), 345-365.
- SOUSA-COUTINHO, A. (1988) – *Fabrico e Propriedades do Betão*, Volume I. Lisboa, LNEC.
- VEIGA, R; FRAGATA, A; VELOSA, A; MAGALHÃES, A; MARGALHA, G. (2010). *Lime-based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings*. Architectural Heritage 4(2), 177-195.

ANEXOS

A1 – Divulgação de resultados



16-20 Oct. 2013

Vila Nova de Cerveira, PORTUGAL

International Conference Vernacular Heritage & Earthen Architecture

escola superior galliaccia



Comportamento Higroscópico de Argamassas para Reboco

Ana Pires, FCT UNL, al.pires@campus.fct.unl.pt
Paulina Faria, FCT UNL, paulina.faria@fct.unl.pt

A INFLUÊNCIA DA HUMIDADE RELATIVA NO AMBIENTE INTERIOR E A HIGROSCOPICIDADE DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

A humidade relativa ambiente influencia a salubridade dos ambientes interiores e, consequentemente, a saúde dos utilizadores. Os ambientes demasiado húmidos proporcionam o desenvolvimento de fungos, bolores e ácaros. A permanência nestas condições aumenta o risco de doenças do foro respiratório e alergias e pode ainda provocar outros sintomas, tais como cansaço e dores de cabeça. Por outro lado, a permanência em ambientes demasiado secos provoca a excessiva secagem da mucosa das vias respiratórias superiores, facilitando infeções e doenças respiratórias. A sensação de conforto térmico está, entre outros fatores, relacionada com a humidade relativa ambiente. Considerando um regime simplificado, com velocidade do ar interior reduzida e temperatura constante, pode considerar-se que a sensação de temperatura percebida depende, para além da temperatura efetiva, da humidade relativa do ar. O ar mais húmido apresenta maior condutibilidade térmica e dificulta a evaporação. Então, a diminuição da humidade relativa de um ambiente permite o aumento de temperatura, sem que a sensação de conforto seja alterada. A humidade relativa afeta ainda o desempenho energético dos edifícios devido à influência que possui, quando em valor elevado, na deterioração dos materiais de construção e sistemas (de ventilação, ar condicionado). A maioria dos materiais de construção apresenta características higroscópicas, ou seja, têm a capacidade de adsorver/desadsorver vapor de água consoante a humidade relativa ambiente se encontra, respetivamente, em valores mais elevados ou mais baixos. Certos minerais de argila (a ilite, a caulinite e a esmectite/montmorilonite) possuem elevada superfície específica e excesso de carga negativa, o que lhes confere elevada higroscopidade. Quando se utilizam materiais que possuem minerais de argila na elaboração de argamassas para rebocos interiores, estes podem contribuir para a regularização da humidade relativa do ambiente[1].

DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Para a avaliação da capacidade de amortecimento da humidade relativa dos materiais foi utilizado o protocolo de ensaio NORDTEST [2], segundo este protocolo os materiais analisados foram sujeitos a ciclos de variação de humidade relativa (8 horas a 75% e 16 horas a 33%) durante os quais se registou a alteração de massa dos provetes. Com os dados recolhidos foi possível calcular o *Moisture Buffer Value* (MBV), em kg/(m².%RH), que define a capacidade dos materiais atenuarem as variações de humidade relativa ambiente. Neste protocolo de ensaio é definida uma classificação para os materiais, em termos de capacidade de amortecimento da humidade relativa ambiente, consoante o seu valor de MBV:

- MBV entre 0 e 0,2 g/(m².%RH) - desprezível.
- MBV entre 0,2 e 0,5 g/(m².%RH) - limitado.
- MBV entre 0,5 e 1,0 g/(m².%RH) - moderado.
- MBV entre 1,0 e 2,0 g/(m².%RH) - bom.
- MBV superior a 2,0 g/(m².%RH) - excelente.

Foram estudadas várias argamassas de terras distintas, algumas com fibras vegetais, argamassas de cal aérea e com diferentes % de uma terra e uma argamassa de cal hidráulica natural. As argamassas foram agrupadas em 5 grupos.

As curvas a que os provetes foram sujeitos foram as seguintes:

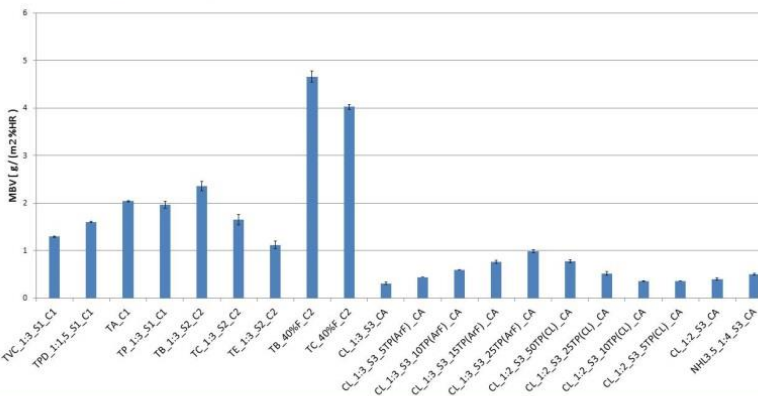
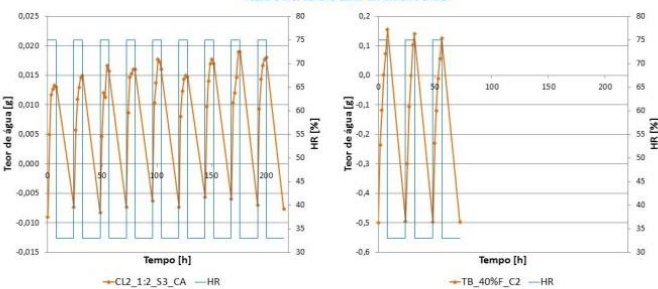
- C1: os provetes foram mantidos no molde durante 7 dias dentro de um saco fechado de polietileno; em seguida foram retirados do saco e colocados em sala condicionada (20 ± 2°C e 50 ± 5% HR) durante outros 7 dias; após este período, os provetes foram desmoldados e mantiveram-se na sala condicionada.
- C2: os provetes foram mantidos no molde até apresentarem rigidez suficiente para a desmoldagem (cerca de uma semana) e mantidos a 25°C e 65%HR até ser iniciada a campanha experimental.
- CA: os provetes estiveram a 20 ± 2°C e 65 ± 5% HR e foram aspergidos com água do 2^o ao 5^o dia.

Quadro resumo da composição das argamassas

Grupo	Designação	Descrição
1	TVC_1:3_S1_C1	Argamassa de Terra de Val de Chaim (TVC) ao traço volumétrico 1:3 de terra e areia lavada S1
	TPD_1:1,5_S1_C1	Arg. de Terra de Pá Danado (TPD) ao traço volumétrico 1:1,5 de terra e areia S1
	TA_C1	Arg. de Terra de Avis (TA) ao traço 1:0 (só de terra)
2	TP_1:3_S1_C1	Arg. de Terra Padrão (TP) ao traço volumétrico 1:3 de terra e areia S1
	TB_1:3_S2_C2	Arg. de terra B (TB) e areia lavada S2 ao traço volumétrico 1:3
	TC_1:3_S2_C2	Arg. de terra C (TC) e areia lavada S2 ao traço volumétrico 1:3
3	TE_1:3_S2_C2	Arg. de terra E (TE) e areia lavada S2 ao traço volumétrico 1:3
	TB_40%F_C2	Arg. de terra B ao traço volumétrico 1:0 e com 0,4% de fibras de trigo(F)
	TC_40%F_C2	Arg. de terra C ao traço volumétrico 1:0 e com 0,4% de fibras de trigo
4	CL_1:3_S3_CA	Arg. de cal aérea(CL) ao traço volumétrico 1:3 de cal e areia lavada S3
	CL_1:3_S3_5TP(ArF)_CA	Arg. de cal aérea ao traço volumétrico: 1:3 de CL e areia S3, com 5% de massa de terra TP em substituição de fração fina(ArF) da areia S3
	CL_1:3_S3_10TP(ArF)_CA	Arg. de cal aérea ao traço volumétrico: 1:3 de CL e areia, com 10% de massa de terra TP em substituição de fração fina da areia S3
	CL_1:3_S3_15TP(ArF)_CA	Arg. de cal aérea ao traço volumétrico: 1:3 de CL e areia, com 15% de massa de terra TP em substituição de fração fina da areia S3
	CL_1:3_S3_25TP(ArF)_CA	Arg. de cal aérea ao traço volumétrico: 1:3 de CL e areia, com 25% de massa de terra TP em substituição de fração fina da areia S3
	CL_1:2_S3_CA	Arg. de cal aérea ao traço volumétrico 1:2 de CL e areia lavada S3
	CL_1:2_S3_5TP(CL)_CA	Arg. de cal aérea ao traço volumétrico 1:2 com 5% de massa de terra TP em substituição de CL
5	CL_1:2_S3_10TP(CL)_CA	Arg. de cal aérea ao traço volumétrico 1:2 com 10% de massa de terra TP em substituição de CL
	CL_1:2_S3_25TP(CL)_CA	Arg. de cal aérea ao traço volumétrico 1:2 com 25% de massa de terra TP em substituição de CL
	CL_1:2_S3_50TP(CL)_CA	Arg. de cal aérea ao traço volumétrico 1:2 com 50% de massa de terra TP em substituição de CL
	NHL3.5_1:4_S3_CA	Arg. de cal hidráulica natural NHL3.5 ao traço volumétrico 1:4 com areia lavada S3



RESULTADOS EXPERIMENTAIS



CONCLUSÕES

Através da análise de resultados deste ensaio verifica-se que:

- O tipo de terra utilizado nas argamassas influencia a capacidade de amortecimento da humidade relativa (grupos 1 e 2). Por exemplo a argamassa TB_1:3S2_C2 apresenta um valor de MBV superior a 2 g/(m².%RH), obtendo uma classificação de excelente, enquanto que a argamassa TE_1:3S2_C2, com MBV perto de 1 g/(m².%RH), se classifica apenas com bom.
- A introdução de fibras nas argamassas contribui de forma bastante relevante para o aumento do MBV (grupo 3). As argamassas TB_0,4F_C2 e TC_0,4F_C2 apresentam valores de MBV na ordem de 4,5 g/(m².%RH) e 4 g/(m².%RH), respectivamente, o que é bastante superior ao limite de 2 g/(m².%RH) que define o início da classe de excelente na capacidade de amortecimento da humidade relativa ambiente.
- A quantidade de terra introduzida, tanto em substituição da fração do agregado fino como do ligante [Faria et al. 2013], afecta o MBV. Pela análise das argamassas CL_1:3S3_A e CL_1:2S3_A (grupo 4) nota-se que quanto maior a percentagem de terra utilizada, maior o MBV da argamassa.
- De uma forma geral as argamassas de terra apresentam muito melhores resultados do que as com ligantes minerais correntes, como é o caso da cal aérea (grupo 4) e da cal hidráulica natural (grupo 5).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Lima, J. (2013). O contributo das argamassas de barro para a qualidade do ambiente interior dos edifícios: o caso das argilas do sotavento algarvio. 2^o Congresso Internacional da Habitação no Espaço Lusófono, Lisboa, LNEC (CD).
- [2] Rode et al. (2005). Moisture buffering of building materials. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark.
- [3] Gomes MI et al. (2013). The compatibility of earth-based repair mortars with rammed earth substrates. HMC2013, Historic Mortars Conference, University of West Scotland, Glasgow (CD).
- [4] Faria et al. (2013). Evaluation of air lime and clayish earth mortars for earthen wall renders. ClAV 2013, Vila Nova de Cerveira, Portugal.