



**CARLA SOFIA DOS
SANTOS VALENTE**

**CONSERVAÇÃO DE FACHADAS AZULEJADAS EM
OVAR: COMPORTAMENTO FACE À ÁGUA**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica da Doutora Ana Luísa Lomelino Velosa, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e da Doutora Maria do Rosário da Silva Veiga, Investigadora Principal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Aos meus Pais e Irmão

o júri

presidente

Professor Doutor Aníbal Guimarães da Costa
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Investigadora Principal Doutora Maria do Rosário da Silva Veiga
Investigadora Principal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Professor Doutor João Paulo Pereira de Freitas Coroado
Professor Coordenador do Instituto Politécnico de Tomar

Professora Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram para realização deste objectivo pessoal.

À Professora Doutora Ana Velosa pela sua orientação, partilha de conhecimento científico, pela sua amizade, disponibilidade, constante apoio, entusiasmo e compreensão durante todo o trabalho realizado.

À Investigadora Principal Rosário Veiga, pela sua co-orientação, disponibilidade demonstrada e estímulo nos trabalhos experimentais realizados no LERevPa.

Aos restantes docentes do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro que contribuíram para a minha formação académica. Um agradecimento especial, ao Professor Aníbal Costa, um verdadeiro Engenheiro, que com os seus conhecimentos de Engenharia e prática em reabilitação me estimulou nesta área.

À Engenheira Elsa Oliveira e Técnico Raul Barros, do laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro pela disponibilidade prestada em todos os trabalhos realizados.

Às Mestres Cristina Sequeira e Denise Terroso, do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, pelo auxílio prestado na realização do ensaio DRX.

Ao Professor Doutor João Coroado pela sua contribuição nos ensaios ATG.

No Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), à Investigadora Principal Maria do Rosário da Silva Veiga, do Núcleo de Revestimentos e Isolamentos (NRI) pela disponibilização de todos de meios, recursos, equipamentos e instalações para a realização deste trabalho.

A todos os técnicos de experimentação presentes no NRI pelo seu acompanhamento e contributo nos ensaios efectuados, Ana Maria Francisco, Bento Sabala e Luís Carmo e pelo excelente ambiente que proporcionaram. Um agradecimento muito especial para a técnica Dora Santos pela entrega demonstrada, pela sua ajuda na integração, inclusive nos almoços, e pela sua inquestionável amizade demonstrada e preocupação.

À empresa cerâmica Condestável pelo fornecimento do material pozolânico, metacaulino.

À Câmara Municipal de Ovar (CMO), mais concretamente à Mestre Isabel Moura do Atelier de Conservação e Restauro do Azulejo (ACRA) pela sua disponibilidade e auxílio na recolha de amostras a diversas fachadas da Cidade de Ovar e por facultar diversa documentação e informação referente a estudos e recolhas efectuadas. Ao técnico Gil do ACRA pela sua prontidão e profissionalismo. Ao funcionário camarário Manuel Oliveira pela sua entrega profissional, auxílio prestado e boa disposição.

À Ripórtico Engenharia, Lda, em especial aos Engenheiros Ricardo Campos e Nuno Pinto, pela sua disponibilidade e preocupação na realização da dissertação.

Aos amigos da Universidade, com especial destaque para o Bruno Teixeira pela sua amizade, companheirismo, compreensão e constante incentivo ao longo de toda a vida académica.

À família Espírito Santo, os meus novos amigos de Penha de França, pela sua hospitalidade, amizade e incentivo durante a minha estadia em Lisboa. Em especial, à Sofia Espírito Santo pela amizade e carinho demonstrado.

Aos meus amigos de Ovar pelo seu incentivo e preocupação na elaboração da presente dissertação.

Ao meu namorado, Rui Almeida, um agradecimento muito especial pelo seu amor, carinho, amizade, compreensão e incentivo demonstrado ao longo de todos estes anos. Tanto nos bons como nos maus momentos, esteve sempre a meu lado a apoiar e a dar-me muita força. Um MUITO OBRIGADO por estares sempre presente.

Aos meus futuros sogros e cunhados, pela amizade, preocupação e incentivo demonstrado durante todos estes anos.

A toda a minha família, em especial ao meu irmão Nuno Valente e aos meus avós, pelo interesse, apoio e incentivo para a conclusão desta última etapa.

Por fim, o meu profundo reconhecimento e agradecimento aos meus queridos pais, Lurdes Santos e Joaquim Valente, pelo seu amor e amizade incondicional, bem como pelo seu esforço e sacrifício efectuado, a fim de me poderem proporcionar um futuro melhor. A vossa presença foi indispensável para a conclusão desta etapa final.

palavras-chave

Conservação de fachadas, argamassas de cal aérea, azulejo, metacaulino, comportamento face à água.

resumo

O presente trabalho tem como base a conservação de fachadas azulejadas da Cidade de Ovar. O estudo desta temática incidiu no levantamento e caracterização da composição mineralógica e física de argamassas que remontam ao final do século XIX. As argamassas antigas foram também sujeitas ao ensaio de permeabilidade ao vapor de água e procedeu-se à análise de sais. Para complementar o estudo, foram ainda elaboradas diferentes argamassas de cal aérea e metacaulino com vista a estudar o seu comportamento face à água, sendo para tal sujeitas a ensaios de capilaridade aplicáveis em conservação de edifícios antigos. A sua análise contribuiu para estudar a sua aplicabilidade em fachadas de edifícios antigos em Ovar. Finalmente foram efectuados painéis nas fachadas estudadas. Estes foram ainda sujeitos a ensaios de capilaridade e análise de sais. Todos estes ensaios foram efectuados com o fim de caracterizar as argamassas e estudar a sua aplicabilidade.

keywords

Facade conservation, Lime mortars, glazed tiles, metakaolin, behaviour towards the water.

abstract

This work is based on conservation of glazed tiles facades in the City of Ovar. The study focused on the theme of this survey and the characterization of physical and mineralogical composition of mortars going back to the end of the nineteenth century. The old mortars were also subject to testing of water vapour permeability and an analysis of salts. To complement the study, air lime based mortars with metakaolin were developed and their behaviour towards water was studied. In the context, capillary water absorption tests, applicable in the conservation of old buildings, were performed. Their analysis contributed to study their applicability in facades of buildings in Ovar. Finally panels were made in the studied facades. These were also subject of capillary tests and analysis of salts.

All these trials were conducted in order to characterize the mortars and study their applicability. It was concluded that some of the studied formulations are adequate for conservation of glazed tile façades in terms of water behaviour compatibility.

Conservação de fachadas azulejadas em Ovar: Comportamento face à água.

ÍNDICE GERAL

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	ENQUADRAMENTO	1
1.2	OBJECTIVOS	2
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2	PROBLEMÁTICA DA REABILITAÇÃO.....	5
2.1	MERCADO EUROPEU DE CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO.....	5
2.2	REABILITAÇÃO EM PORTUGAL	7
2.2.1	Evolução e caracterização do parque habitacional em Portugal	7
2.2.2	Estado de conservação e reabilitação da habitação em Portugal	8
2.2.3	Programas de incentivo à reabilitação	11
2.3	REABILITAR EM OVAR	12
3	AZULEJOS DE FACHADA	15
3.1	ENQUADRAMENTO HISTÓRICO DO AZULEJO	15
3.2	INDÚSTRIAS CERÂMICAS E PROCESSOS DECORATIVOS.....	19
3.2.1	Indústrias cerâmicas	19
3.2.2	Processos Decorativos	20
3.3	CARACTERÍSTICAS DOS AZULEJOS DE FACHADA	20
3.3.1	Enquadramento Normativo.....	21
3.3.2	Vantagens do azulejo de fachada.....	22
3.3.3	Patologia mais frequente do azulejo de fachada.....	22
3.3.4	Azulejaria de fachada em Ovar.....	24
4	ARGAMASSAS PARA REABILITAÇÃO DE FACHADAS.....	25
4.1	HISTÓRIA E ORIGEM DAS ARGAMASSAS.....	26
4.2	TIPOS DE ARGAMASSA.....	26
4.3	ARGAMASSAS DE CAL	27
4.3.1	Descrição e caracterização dos seus constituintes	28
4.3.2	Caracterização física, mecânica e química das argamassas de reabilitação.....	31
4.3.3	Enquadramento normativo.....	32

4.3.4	Patologia das argamassas e na interface Azulejo/Argamassa	34
5	PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE E ENSAIOS EFECTUADOS	39
5.1	ARGAMASSAS ANTIGAS.....	39
5.1.1	Difracção de Raios X (DRX).....	40
5.1.2	Análise Térmica.....	40
5.1.3	Absorção de água por capilaridade.....	40
5.1.4	Permeabilidade ao vapor de água	41
5.2	ARGAMASSAS DESENVOLVIDAS.....	42
5.2.1	Ensaio relativo às matérias-primas	42
5.2.1.1	Massa volúmica aparente.....	43
5.2.2	Determinação da consistência por espalhamento	43
5.2.3	Determinação da massa volúmica.....	44
5.2.4	Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade.....	45
5.3	APLICAÇÕES.....	45
5.3.1	Tubos de Karsten	45
5.4	ENSAIO DE ANÁLISE AOS SAIS	46
6	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS ANTIGAS	47
6.1	RECOLHA DE AMOSTRAS	47
6.2	ANÁLISE DE AMOSTRAS	48
6.2.1	Identificação das amostras ensaiadas.....	48
6.2.2	Resultados.....	48
6.2.2.1	Difracção de Raios X (DRX).....	48
6.2.2.2	Análise Térmica	50
6.2.2.3	Absorção de água por capilaridade.....	53
6.2.2.4	Permeabilidade ao vapor de água dos azulejos, argamassas e conjuntos azulejo com argamassa antigos.....	54
6.2.2.4.1	Rua Dr. José Falcão (JF).....	54
6.2.2.4.2	Rua Dr. António Sobreira (DAS).....	56
6.2.2.4.3	Rua Camilo Castelo Branco (CCB)	58
6.2.2.4.4	Museu de Ovar (MO).....	62
6.2.2.4.5	Permeância ao vapor de água do Azulejo	65
6.2.2.4.6	Permeância ao vapor de água do conjunto Azulejo com Argamassa	66
6.2.2.4.7	Permeabilidade ao vapor de água da Argamassa	67
6.2.2.5	Análise de sais nos edifícios antigos	68
7	ESTUDO DE SOLUÇÕES DE ARGAMASSAS DE CONSERVAÇÃO.....	71
7.1	CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	71
7.1.1	Análise granulométrica das areias	71
7.1.2	Massa volúmica das matérias-primas	72
7.2	DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS	73
7.3	CARACTERIZAÇÃO DAS FORMULAÇÕES DAS NOVAS ARGAMASSAS	74
7.3.1	Preparação e execução de argamassas novas.....	74
7.3.2	Preparação dos provetes	75
7.4	ANÁLISE DE RESULTADOS	76
7.4.1	Consistência por espalhamento.....	76
7.4.2	Massa volúmica	77

7.4.3	Determinação da absorção de água por capilaridade	78
7.4.4	Absorção de água por capilaridade de azulejos novos.....	82
8	APLICAÇÃO E ENSAIO DAS ARGAMASSAS DESENVOLVIDAS EM PAINÉIS NAS FACHADAS AZULEJADAS	85
8.1	ABSORÇÃO DE ÁGUA	85
8.1.1	Rua Camilo Castelo Branco (CCB).....	85
8.1.2	Rua Dr. António Sobreira (DAS)	86
8.2	ANÁLISE DE SAIS NAS NOVAS ARGAMASSAS	87
9	ANÁLISE GERAL DE RESULTADOS	89
9.1	ANÁLISE DE RESULTADOS DAS ARGAMASSAS ANTIGAS.....	89
9.2	ANÁLISE DE RESULTADOS DAS ARGAMASSAS DESENVOLVIDAS	91
9.3	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ARGAMASSAS E AZULEJOS NOVOS E ANTIGOS.....	92
10	CONCLUSÕES.....	97
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – TAXAS DE CRESCIMENTO DOS ALOJAMENTOS – ENQUADRAMENTO INTERNACIONAL	6
FIGURA 2 – AS TRÊS ESFERAS DA ACTIVIDADE DO SECTOR DE CONSTRUÇÃO.	7
FIGURA 3 – TAXAS DE CRESCIMENTO DOS ALOJAMENTOS E DE FAMÍLIAS EM PORTUGAL, 1970 A 2001, POR DÉCADA	8
FIGURA 4 – ESTADO DE CONSERVAÇÃO DOS ALOJAMENTOS EM PORTUGAL EM 2001	9
FIGURA 5 – ALOJAMENTOS CLÁSSICOS DE ACORDO COM O REGIME DE OCUPAÇÃO POR ESTADO DE CONSERVAÇÃO DOS EDIFÍCIOS EM PORTUGAL.....	9
FIGURA 6 – INVESTIMENTOS EM CONSTRUÇÃO NA EUROPA	10
FIGURA 7 – PANÓPLIA DE EDIFICAÇÕES COM FACHADAS AZULEJADAS.....	12
FIGURA 8 – CONVENTO DA CONCEIÇÃO, SALA DO CAPÍTULO, BEJA (PRIMEIRO QUARTEL DO SÉCULO XVI)	16
FIGURA 9 – PALÁCIO REAL DE SINTRA (AZULEJOS HISPANO-MOURISCOS NAS PAREDES).....	16
FIGURA 10 – PALÁCIO REAL DE SINTRA.....	16
FIGURA 11 – IGREJA DE MARVILHA EM SANTARÉM	17
FIGURA 12 – FUNDAÇÃO CULTURAL DO MARANHÃO, EM SÃO LUÍS	18
FIGURA 13 – IGREJA PAROQUIAL DE VÁLEGA (SÉCULO XVII)	18
FIGURA 14 – FÁBRICA DO CARVALHINHO (PORTO).....	19
FIGURA 15 – CHACOTA E TARDOZ DE UM AZULEJO	21
FIGURA 16 – SUPERFÍCIE VIDRADA DE UM AZULEJO	21
FIGURA 17 – ESMAGAMENTO ENTRE AZULEJOS	23
FIGURA 18 – DESCOLAMENTO DO LADRILHO CERÂMICO.....	23
FIGURA 19 – DESGASTE DO VIDRADO DO AZULEJO	23
FIGURA 20 – FACHADA AZULEJADA DA COMPANHIA DE TEATRO CONTACTO.....	24
FIGURA 21 – ORGANOGRAMA ANALÍTICO UTILIZADO NO ESTUDO DAS AMOSTRAS DE ARGAMASSAS ANTIGAS.	39
FIGURA 22 – TABULEIROS COM AMOSTRAS IMERSAS EM ÁGUA PARA O ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE.....	41
FIGURA 23 – MOLDAGEM DA AMOSTRA AO RECIPIENTE USADO.	41
FIGURA 24 – DETERMINAÇÃO DA MASSA VOLÚMICA APARENTE.....	43
FIGURA 25 – PROCEDIMENTO DO ENSAIO DE CONSISTÊNCIA POR ESPALHAMENTO.	44
FIGURA 26 – TUBO DE KARSTEN	46
FIGURA 27 – ENSAIO DE ANÁLISE DE SAIS	46
FIGURA 28 – EDIFÍCIO SITUADO NA RUA CAMILO CASTELO BRANCO	47
FIGURA 29 – ATG EG AMST. 1 (AMARELO)	50
FIGURA 30 – ATG CCB AMST.1 (PAR.)	51
FIGURA 31 – ATG MO AMST. 1	51
FIGURA 32 – ATG DAS AMST.1	52
FIGURA 33 – COEFICIENTE DE CAPILARIDADE DE AZULEJOS ANTIGOS.....	53
FIGURA 34 – LOCALIZAÇÃO DAS ZONAS APÓS LEVANTAMENTO DE AMOSTRAS	55
FIGURA 35 – ESPESSURA DA CAMADA DE AR DE DIFUSÃO EQUIVALENTE	55
FIGURA 36 - LOCALIZAÇÃO DAS ZONAS APÓS LEVANTAMENTO DE AMOSTRAS	57
FIGURA 37 - ESPESSURA DA CAMADA DE AR DE DIFUSÃO EQUIVALENTE.....	57
FIGURA 38 - LOCALIZAÇÃO DAS ZONAS APÓS LEVANTAMENTO DE AMOSTRAS	60
FIGURA 39 - ESPESSURA DA CAMADA DE AR DE DIFUSÃO EQUIVALENTE.....	60
FIGURA 40 – ZONA 2 (ESQUERDA) E ZONA 3 (DIREITA) DA EDIFICAÇÃO EM EPÍGRAFE.....	61
FIGURA 41 - LOCALIZAÇÃO DAS ZONAS APÓS LEVANTAMENTO DE AMOSTRAS	63
FIGURA 42 – LOCALIZAÇÃO DAS ZONAS APÓS LEVANTAMENTO DE AMOSTRAS	64
FIGURA 43 - ESPESSURA DA CAMADA DE AR DE DIFUSÃO EQUIVALENTE.....	64
FIGURA 44 – LOCALIZAÇÃO DA ZONA ONDE FOI RETIRADO O AZULEJO	66
FIGURA 45 – DEGRADAÇÃO DO VIDRADO DA AMOSTRA DAS_Z2_A4.....	67
FIGURA 46 – ANÁLISE DE SAIS A AMOSTRAS DO MUSEU DE OVAR (EXEMPLO)	69
FIGURA 47 – CURVA GRANULOMÉTRICA DE AREIA DE OVAR (SAIBRO) E DE AREIA DE RIO.....	71
FIGURA 48 – CURVA GRANULOMÉTRICA FINAL (50% AREIA DE RIO, 50% AREIA DE OVAR (SAIBRO))	72
FIGURA 49 – PENEIRAÇÃO DE AREIA DE RIO COM PENEIRO N.º 10 (ASTM)	74

FIGURA 50 – ADIÇÃO DE ÁGUA E HOMOGENEIZAÇÃO DA MISTURA DE ARGAMASSA	75
FIGURA 51 – JUNÇÃO DA ARGAMASSA NÃO ASSOCIADA.....	75
FIGURA 52 – EXECUÇÃO DOS PROVETES PRISMÁTICOS.....	76
FIGURA 53 – CONDICIONAMENTO COM PLÁSTICO	76
FIGURA 54 - ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE (KG/M ²) AOS 28 DIAS	79
FIGURA 55 - ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE (KG/M ²) AOS 90 DIAS	80
FIGURA 56 - COEFICIENTE DE CAPILARIDADE (KG/M ² .H ^{1/2}) AOS 28 E AOS 90 DIAS	81
FIGURA 57 – TARDOZ DOS AZULEJOS NOVOS 4, 5 E 6 ENSAIADOS (RESPECTIVAMENTE)	82
FIGURA 58 - COEFICIENTE DE CAPILARIDADE DE AZULEJOS NOVOS	83
FIGURA 59 – IMAGEM ILUSTRATIVA DO ENSAIO REALIZADO <i>IN SITU</i>	86
FIGURA 60 – IMAGEM ILUSTRATIVA DO ENSAIO REALIZADO <i>IN SITU</i>	87
FIGURA 61 – IMAGEM COMPARATIVA ENTRE O COEFICIENTE DE CAPILARIDADE DE AZULEJOS NOVOS E AZULEJOS ANTIGOS	92
FIGURA 62 – ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE (KG/M ²).....	93
FIGURA 63 – RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DOS TUBOS DE KARSTEN NA RUA CAMILO CASTELO BRANCO (CCB)	95
FIGURA 64 - RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DOS TUBOS DE KARSTEN NA RUA DR. ANTÓNIO SOBREIRA (DAS)	95

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS EXIGIDAS AOS LADRILHOS CERÂMICOS – NORMAS DE ENSAIO [19].....	33
TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS EXIGIDAS ÀS ARGAMASSAS – NORMAS DE ENSAIO [44]	34
TABELA 3 – SINTOMAS E CAUSAS DE DIVERSOS TIPOS DE PATOLOGIA EM REVESTIMENTOS CERÂMICOS [45].....	35
TABELA 4 – ANOMALIAS PREDOMINANTES NOS REBOCOS ANTIGOS [42]	36
TABELA 5 – AMOSTRAS ENSAIADAS EM CADA EDIFÍCIO	48
TABELA 6 – RESULTADOS DO ENSAIO DE DIFRAÇÃO DE RAIOS-X.....	49
TABELA 7 – RESULTADOS OBTIDOS DA QUANTIDADE DE CALCITE DA ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA	52
TABELA 8 – CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	53
TABELA 9 – AMOSTRAS REFERENTES À RUA DR. JOSÉ FALCÃO (JF).....	54
TABELA 10 – DESIGNAÇÃO DE AMOSTRAS REFERENTES À RUA DR. JOSÉ FALCÃO (JF)	54
TABELA 11 - AMOSTRAS REFERENTES À RUA DR. ANTÓNIO SOBREIRA (DAS).....	56
TABELA 12 - DESIGNAÇÃO DE AMOSTRAS REFERENTES À RUA DR. ANTÓNIO SOBREIRA (DAS)	56
TABELA 13 - AMOSTRAS REFERENTES À RUA CAMILO CASTELO BRANCO (CCB)	58
TABELA 14 – AMOSTRAS REFERENTES À RUA CAMILO CASTELO BRANCO (CCB).....	59
TABELA 15 - DESIGNAÇÃO DE AMOSTRAS REFERENTES À RUA CAMILO CASTELO BRANCO (CCB).....	59
TABELA 16 - AMOSTRAS REFERENTES AO MUSEU DE OVAR (MO)	62
TABELA 17 – AMOSTRAS REFERENTES AO MUSEU DE OVAR (MO).....	62
TABELA 18 - DESIGNAÇÃO DE AMOSTRAS REFERENTES AO MUSEU DE OVAR (MO).....	63
TABELA 19 – PERMEÂNCIA AO VAPOR DE ÁGUA DO AZULEJO NOS DIVERSOS EDIFÍCIOS.....	65
TABELA 20 - PERMEÂNCIA AO VAPOR DE ÁGUA DO CONJUNTO AZULEJO COM ARGAMASSA NOS DIVERSOS EDIFÍCIOS.....	66
TABELA 21 - PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA DE ARGAMASSA NOS DIVERSOS EDIFÍCIOS.....	67
TABELA 22 – RESULTADOS RELATIVOS À ANÁLISE DE SAIS DAS ARGAMASSAS ANTIGAS	68
TABELA 23 – MASSA VOLÚMICA APARENTE DAS MATÉRIAS-PRIMAS	72
TABELA 24 – DESIGNAÇÃO E TRAÇOS VOLUMÉTRICOS DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS	73
TABELA 25 – RELAÇÃO PONDERAL ÁGUA/LIGANTE	73
TABELA 26 – CONSISTÊNCIA POR ESPALHAMENTO DAS DIFERENTES ARGAMASSAS ESTUDADAS	77
TABELA 27 – MASSA VOLÚMICA DAS DIVERSAS ARGAMASSAS	77
TABELA 28 - ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE (KG/M^2) E COEFICIENTE DE CAPILARIDADE ($\text{KG}/\text{M}^2 \cdot \text{H}^{1/2}$) AOS 28 DIAS	78
TABELA 29 - ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE (KG/M^2) E COEFICIENTE DE CAPILARIDADE ($\text{KG}/\text{M}^2 \cdot \text{H}^{1/2}$) AOS 90 DIAS	79
TABELA 30 - COEFICIENTE DE CAPILARIDADE ($\text{KG}/\text{M}^2 \cdot \text{H}^{1/2}$) AOS 28 E AOS 90 DIAS	81
TABELA 31 – CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	82
TABELA 32 – ÁGUA ABSORVIDA (CM^3) AO LONGO DE 60 MIN NA FACHADA DA RUA CAMILO CASTELO BRANCO (CCB).....	85
TABELA 33 – ÁGUA ABSORVIDA (CM^3) AO LONGO DE 60 MIN NA FACHADA DA RUA DR. ANTÓNIO SOBREIRA (DAS)	86
TABELA 34 – RESULTADOS RELATIVOS À ANÁLISE DE SAIS DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS	87
TABELA 35 – RELAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS À ANÁLISE DE SAIS COM A PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA	90
TABELA 36 – CARACTERÍSTICAS OBTIDAS PARA AS DIFERENTES ARGAMASSAS	91
TABELA 37 – ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DE AZULEJOS (KG/M^2).....	93
TABELA 38 – ANÁLISE DE SAIS ARGAMASSAS ANTIGAS VS ARGAMASSAS NOVAS	94

1 Introdução

1.1 Enquadramento

O património edificado português apresenta um estado de degradação preocupante. Este, com o passar dos anos, tem sofrido inúmeras transformações devidas a mudanças climáticas, a fungos, à poluição, à atmosfera e, até mesmo, ao próprio homem, pela falta de manutenção e restauro do património existente. Sendo assim, existe uma enorme necessidade de reabilitar, conservar e aproveitar o património edificado, pois reporta à história portuguesa, traz benefícios turísticos e constitui um testemunho cultural. [35]

Esta problemática tem afectado inúmeras cidades, sendo uma delas a cidade de Ovar. O seu centro histórico encontra-se extremamente degradado, não só pela falta de intervenções de conservação e restauro, mas também devido à desertificação existente na zona. É urgente a intervenção por parte dos moradores e autarcas, não só pela degradação em si, mas também pelo facto de Ovar ter um importante conjunto de edifícios com fachadas azulejadas, sendo mesmo denominada Cidade Museu do Azulejo. [6]

Sendo assim, é imprescindível a preservação da autenticidade das fachadas de edifícios antigos, não só pela sua importância histórica, cultural e artística, mas também porque é essencial preservar tanto as tecnologias como os materiais empregues em dada época. Nas intervenções de reabilitação em fachadas azulejadas de edifícios antigos, sempre que seja necessária a aplicação de uma nova argamassa, é fundamental que haja compatibilidade entre essa argamassa e a fachada existente. Para tal deve ser feito um estudo aprofundado, de modo a que seja possível produzir uma argamassa com uma constituição o mais parecida possível com a argamassa existente e utilizar a técnica que mais se adequa ao caso em questão. [29]

Neste género de obras, as argamassas que mais se assemelham às argamassas antigas são as argamassas de cal aérea. Quando a estas se adicionam pozolanas, como por exemplo metacaulino, as argamassas resultantes apresentam características adequadas à sua aplicação em fachadas azulejadas, exibindo bons resultados quanto à sua durabilidade, resistências mecânicas moderadas e maior resistência ao ataque de sulfatos do que as argamassas com cimento Portland ou só de cal aérea. [31]

1.2 Objectivos

Com este trabalho pretende-se caracterizar as argamassas existentes nas fachadas azulejadas da cidade de Ovar, bem como desenvolver soluções de novas argamassas que servirão de base aos azulejos antigos e novos em acções de conservação de fachadas. As novas argamassas serão argamassas de cal com adições de pozolana, nomeadamente metacaulino.

No âmbito deste estudo, a caracterização dos materiais que compõem estas argamassas será feita com recurso a diversos ensaios como: análise mineralógica, por difractividade de raios X (DRX), análise térmica (ATG), ensaio de absorção de água por capilaridade e ensaio de permeabilidade. Posteriormente será feita a análise individual de cada um dos ensaios. A estes ensaios serão sujeitas argamassas pré-existentes, argamassas novas, azulejos antigos e azulejos novos. Estas diversas combinações de materiais visam determinar diversos resultados, de modo a se encontrar uma solução que se adequa às condições existentes. Na presente tese será focado o comportamento das argamassas e azulejos face à água, pois a água é uma das principais preocupações neste tipo de fachadas devido às infiltrações de água e capilaridade ascensional.

Este trabalho visa adquirir um melhor conhecimento sobre argamassas antigas e argamassas de cal com adições de metacaulino, que sejam compatíveis a nível funcional com o suporte existente e o azulejo, para posteriormente serem aplicadas em obras de conservação das fachadas azulejadas de Ovar.

1.3 Estrutura do trabalho

A presente dissertação encontra-se dividida em 10 Capítulos. O Capítulo 1 destina-se à Introdução.

O estado de arte encontra-se dividido em 3 capítulos, cabendo ao Capítulo 2 a temática da reabilitação, ao Capítulo 3 uma abordagem sobre o património azulejar e ao Capítulo 4 uma análise sobre argamassas de reabilitação, incidindo particularmente nas argamassas de cal.

Seguidamente será feito um estudo experimental que se encontrará descrito nos capítulos 5, 6, 7 e 8. O Capítulo 5 incidirá nos procedimentos de análise e ensaios efectuados. O Capítulo 6 dedica-se à caracterização das argamassas antigas e apresentação dos resultados. As argamassas desenvolvidas são referidas no Capítulo 7 onde se apresentam os resultados obtidos dos vários ensaios efectuados. O Capítulo 8 expõe a aplicação das argamassas desenvolvidas nas fachadas dos edifícios vareiros.

No Capítulo 9 será efectuada a análise geral dos resultados obtidos e o Capítulo 10 será composto pela conclusão do trabalho.

2 Problemática da Reabilitação

A reabilitação é um assunto que já tem mais de 100 anos, advém do século XIX, e, desde então, têm sido traçadas várias estratégias a fim de haver um maior incentivo sobre esta matéria.

Existe uma grande necessidade de reabilitar, de conservar e de aproveitar os recursos disponibilizados pelo nosso património histórico e de evitar a desertificação dos centros históricos. Para isso há que conseguir dotá-lo de capacidade de resposta perante as exigências de uma vida contemporânea, de integrar valores sociais, ambientais e de sustentabilidade, e de conseguir soluções economicamente viáveis.

Os processos de reabilitação urbana evitam a desertificação, o aumento dos movimentos pendulares casa-trabalho, investimentos em infra-estruturas e os custos sociais inerentes à deslocação das populações.

Embora exista um forte estímulo para a reabilitação, é de sublinhar que há pouca mão-de-obra especializada neste campo e também não existe legislação sobre as metodologias a aplicar, apenas algumas recomendações.

Ao longo dos séculos foram realizados vários encontros dos quais resultaram diversas cartas e documentos que originaram uma série de recomendações que ainda hoje se mantêm em vigor. A carta que teve uma maior relevância foi a “Carta de Veneza” que visava: a criação de organizações internacionais e nacionais de carácter operativo e consultivo na área do Restauro; a elaboração do inventário do património arquitectónico degradado de cada país, a cargo de instituições competentes; a preservação do património; a garantia de conservar a identidade do edifício após a intervenção; a sensibilização e alerta relativamente à educação/formação cívica, técnica e científica para a reabilitação; a necessidade de legislar e regulamentar o sector e a criação de incentivos para a prática da reabilitação. [1]

2.1 Mercado Europeu de Construção e Reabilitação

Na Europa, o sector da reabilitação representa já uma elevada percentagem do total da construção (excede os 20%), ao contrário de Portugal. [2]

De acordo com os Censos 2001, pode-se constatar que a taxa de crescimento dos alojamentos tem diminuído ao longo dos anos, o que demonstra que o mercado da reabilitação tende a aumentar.

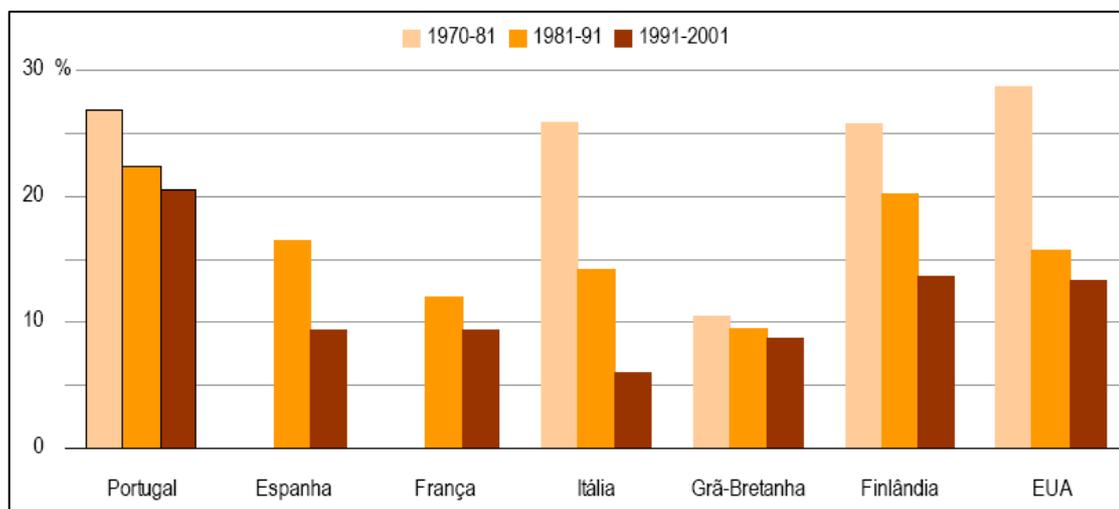


Figura 1 – Taxas de crescimento dos alojamentos – enquadramento internacional

Através da Figura 1 pode-se verificar que, na década de 70, a taxa de crescimento de alojamentos era bastante elevada a nível europeu; contudo tem vindo a decrescer ao longo dos tempos, o que demonstra que, nas últimas décadas, se tem apostado mais no sector da reabilitação. [2]

A nível europeu existe uma parte significativa do parque edificado, principalmente construído nos anos 50 e 60, devido ao “baby boom” do pós-guerra, que necessita de obras de manutenção e/ou reabilitação, pelo facto do parque habitacional se encontrar no fim de vida útil (40/50 anos). [1, 2]

É de salientar que, embora os países europeus estejam dispostos a progredir no que diz respeito ao ramo da reabilitação, até ao momento não existe nenhum mercado europeu para o efeito. Os mercados imobiliários e de construção são principalmente mercados nacionais, regionais e locais.

França registou na década de 90 (1990 – 1999) um aumento de 10% do total de edifícios construídos, cerca de metade comparativamente com Portugal.

2.2 Reabilitação em Portugal

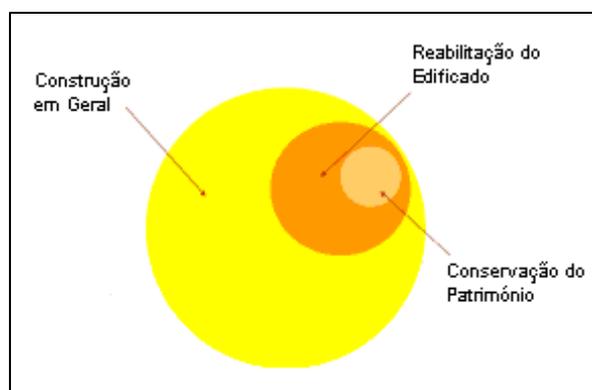


Figura 2 – As três esferas da actividade do sector de construção.

Fonte: Lisboa e-nova (Agência Municipal de Energia e Ambiente)

A estrutura da actividade de construção civil e obras públicas pode ser representada por três esferas de tamanhos decrescentes (Figura 2). A grande esfera engloba o sector da construção nova e representa um volume de negócios da ordem dos 25 milhões de euros e mobiliza 600 mil trabalhadores. Dentro desta esfera existe uma segunda (que tende a crescer) que corresponde aos trabalhos de reabilitação das construções existentes. Em Portugal, esta esfera tem uma importância inferior a 10% do total da actividade de construção civil e obras públicas, enquanto noutros países europeus representa cerca de 40 ou 50%. Finalmente, a terceira esfera corresponde ao sector da conservação e restauro dos monumentos e edifícios históricos. Esta abrange menos de 1% da produção total do sector da construção. [3]

2.2.1 Evolução e caracterização do parque habitacional em Portugal

Ao longo das últimas três décadas tem havido um forte crescimento na taxa de alojamentos (acima dos 20%), sendo sempre bastante superior ao aumento do número de famílias, como se pode verificar na Figura 3. [2]

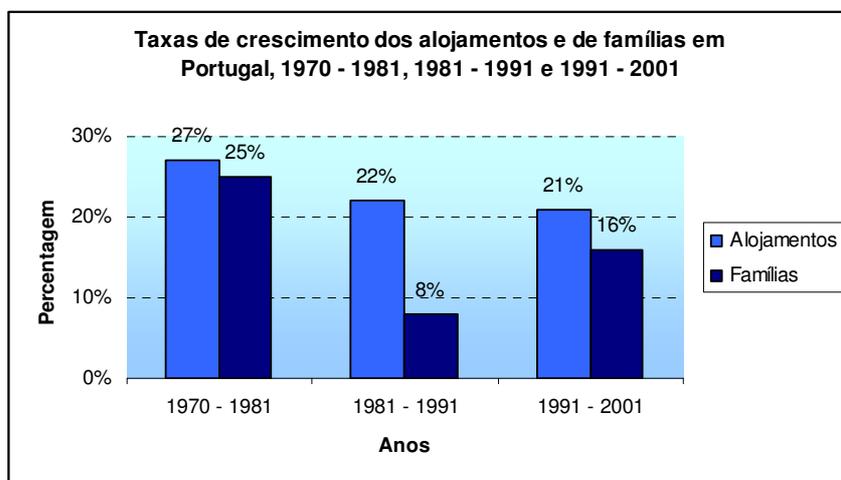


Figura 3 – Taxas de crescimento dos alojamentos e de famílias em Portugal, 1970 a 2001, por década

Na década de 70, registaram-se as taxas de crescimento de alojamentos mais elevadas, mas estas tendem a diminuir, embora a um ritmo mais lento do que ao resto da Europa.

A Figura 1 mostra que na década de 90, Portugal se destaca em relação aos restantes países europeus, quanto ao aumento do parque habitacional português.

Através da análise dos edifícios recenseados em 2001 conclui-se que 60% dos edifícios foram construídos após 1970, 19% foram construídos na última década e igualmente a mesma percentagem dos construídos antes de 1945.

Verifica-se uma maior percentagem de alojamentos em comparação com a percentagem de família devido à forte emigração registada em Portugal durante os anos 60 e 70.

2.2.2 Estado de conservação e reabilitação da habitação em Portugal

O estado de conservação dos alojamentos em Portugal não é o melhor.

De acordo com os dados dos Censos 2001 para Portugal, nesse ano, cerca de 15% (800 mil) do total dos alojamentos necessitavam de obras de recuperação, sendo que 6% (325 mil) se encontravam degradados ou muito degradados (Figura 4).

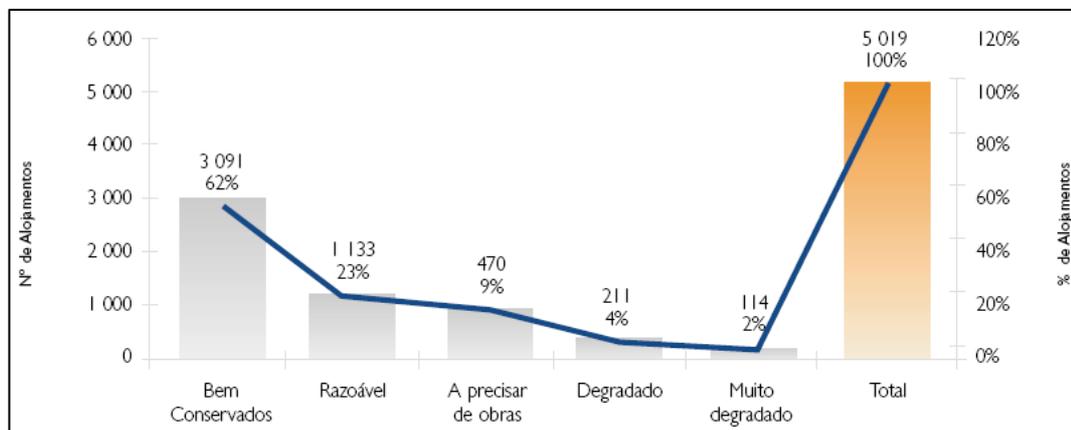


Figura 4 – Estado de conservação dos alojamentos em Portugal em 2001

A análise por regime de ocupação revela que dos 800 mil alojamentos a necessitar de obras, 510 mil (64%) são de residência habitual, 180 mil (22%) encontram-se vagos e os restantes 110 mil (14%) são para uso sazonal.

	TOTAL	Residência habitual	Uso sazonal	Vagos
S/ necessidades reparação	3.091.013	2.214.208	624.481	252.324
Pequenas.reparações	1.132.792	827.704	190.317	114.771
Reparações.Médias	470.117	322.591	71.129	76.397
Grandes.Reparações	211.320	129.952	27.662	53.706
Muito.degradado	114.183	56.774	10.830	46.579

Figura 5 – Alojamentos clássicos de acordo com o Regime de Ocupação por Estado de Conservação dos Edifícios em Portugal

O estado de conservação dos alojamentos em Portugal pode ser explicado pelo reduzido investimento na sua conservação e manutenção, o que por sua vez se deve ao reduzido valor das rendas dos contratos de arrendamento anteriores a 1990.

País	Habitação	Reabilitação	Não Residencial	Engenharia Civil
Áustria	24,7%	15,8%	35%	24,5%
Bélgica	19,7%	24,3%	37,7%	18,3%
Dinamarca	17,2%	32,9%	25,5%	24,4%
Finlândia	21,7%	17,2%	40,2%	20,9%
França	21,9%	25,3%	31,3%	21,4%
Alemanha	25,0%	33,2%	25,6%	16,1%
Irlanda	53,2%	12,3%	17,1%	17,5%
Itália	18,8%	28,0%	30,5%	22,7%
Holanda	26,6%	23,5%	26,8%	23,0%
Noruega	18,8%	17,9%	39,7%	23,7%
Espanha	34,0%	15,5%	23,1%	27,4%
Suécia	34,6%	11,1%	31,7%	22,6%
Suíça	15,0%	22,9%	30,9%	31,2%
Reino Unido	13,8%	25,7%	47,4%	13,1%
Portugal	34,3%	15,0%	23%	27,7%
Média Europeia	25,3%	21,4%	31%	22,3%

Figura 6 – Investimentos em construção na Europa
 Fonte: Euroconstruct, INH

Pela leitura do quadro acima apresentado pode-se constatar que em Portugal tem havido um grande aumento do parque habitacional em comparação com o dos restantes países da União Europeia. Contudo pode-se verificar que o mercado da reparação e conservação em Portugal está muito abaixo dos níveis da União Europeia.

Existem claramente factores condicionantes à evolução do mercado de reabilitação do parque habitacional, que não dependem apenas das necessidades que se foram acumulando ao longo dos anos, mas também com:

- A evolução da economia, através do impacto que tem sobre a disponibilidade financeira das famílias;
- As medidas públicas de apoio à reabilitação do parque habitacional, que são escassas face ao número de edifícios com necessidades de reparação;
- A resolução do problema do arrendamento.

No entanto, deve-se ainda acrescentar:

- A multiplicidade das entidades envolvidas no processo de reparação de um edifício (no caso, por exemplo, do edifício se encontrar numa zona histórica);
- A capacidade de resposta das empresas do sector da construção, principalmente no que diz respeito à existência de mão-de-obra especializada;
- A interiorização de que os trabalhos de reparação e manutenção representam um importante investimento patrimonial. [2]

2.2.3 Programas de incentivo à reabilitação

A reabilitação quer dos edifícios muito antigos como também uma pequena parte dos mais recentes começa a ter um peso importante a nível nacional. É necessário “preservar” os edifícios históricos, muitas vezes quase em estado de ruína, e conservar os edifícios actuais.

Existem diversos programas públicos de apoio e incentivo à reabilitação de edifícios degradados como por exemplo:

- RECRIA – Regime Especial de Participação na Recuperação de Imóveis Arrendados e seus derivados:
 - RECRIPH – Regime Especial de Participação e Financiamento na Recuperação de Prédios Urbanos em Regime de Propriedade Horizontal;
 - SOLARH – Regime de concessão de apoio financeiro especial para realização de obras de conservação ordinária, extraordinária e de beneficiação em habitação própria permanente;
 - REHABITA – Regime de Apoio à Recuperação Habitacional em Áreas Urbanas Antigas
- PRID – Programa de Recuperação de Imóveis Degradados (Região Autónoma da Madeira – RAM). [1, 4, 5]

Por sua vez, as áreas urbanas degradadas também têm tido o apoio de outros programas, tais como:

- PRAUD – Programa de Recuperação de Áreas Urbanas Degradadas (apoia financeiramente municípios na recuperação de zonas urbana);
- PROHABITA – Programa de Financiamento para Acesso à Habitação (mais centrado no realojamento); e, o POLIS (direccionado em intervenções nas vertentes urbanística e ambiental de áreas urbanas degradadas ou centros históricos). [4]

Recentemente surgiram as Sociedades de Reabilitação Urbana (SRU), criadas para requalificar e revalorizar as zonas urbanas. [4]

Embora existam diversos programas de incentivo à reabilitação em Portugal, estes ainda são muito limitados e desarticulados, com objectivos, modelos de acção e temporalidades muito desiguais.

2.3 Reabilitar em Ovar

O problema da desertificação do centro das cidades começa a alastrar-se por todo o país e a afectar o centro de diversas cidades. A cidade de Ovar não é excepção. O seu centro histórico, aos poucos e poucos, tem sido abandonado pelos populares que lá vivem e são inúmeros os factores que provocam essa realidade. Este assunto tem preocupado não só os autarcas, mas também a população em geral e outras entidades locais e regionais.

O centro da cidade tem-se degradado ao longo dos anos, pelo facto das famílias “abandonarem” as suas casas e procurarem melhores condições. Normalmente nem pensam em restaurar ou recuperar a habitação devido aos elevados gastos inerentes. Torna-se mais fácil comprar uma moradia nova numa zona urbanizada com todas as infra-estruturas, com facilidades de estacionamento e com alguma zona verde ou com espaço exterior do que restaurar uma habitação e ter todos os encargos e as dificuldades que há em recuperá-la.



Figura 7 – Panóplia de edificações com fachadas azulejadas

A Câmara Municipal de Ovar (CMO) tem vindo a tomar diversas medidas para evitar o fenómeno da desertificação do seu centro histórico, como, por exemplo, licenciar edifícios que, a par da componente comercial, obrigatoriamente tenham uma componente de habitação, requalificar espaços públicos e reduzir as taxas de IMI – Imposto Municipal sobre Imóveis (majoração de 30% da taxa aplicável aos prédios urbanos degradados).

A cidade de Ovar foi considerada a Cidade Museu do Azulejo, devido ao seu vasto património azulejar. Esta tem sido uma das principais preocupações que leva a autarquia a tomar medidas diferenciadas de outros concelhos que vivem a mesma problemática. As fachadas azulejadas da cidade, que se encontram na sua maioria no centro histórico, têm sido recuperadas pelo Atelier de Conservação e Restauro do Azulejo (ACRA) existente em Ovar e apoiado pela CMO. Existem também em funcionamento programas de apoio à reabilitação de edifícios do centro histórico de Ovar que são: o SOLARH, o RECRUA e o Programa de Conservação, Reparação ou Beneficiação de Habitações Degradadas de Pessoas Carenciadas do Município de Ovar. [6]

3 Azulejos de Fachada

O azulejo tem um lugar de destaque no património cultural português desde há cinco séculos. Este é hoje considerado como uma das produções mais originais da cultura portuguesa. Tem um forte sentido cenográfico descritivo e monumental. [7]

É esta pequena peça de cerâmica de pouca espessura, geralmente quadrada, em que uma das faces é vidrada, que reflecte, para além da luz, o reportório do imaginário português. O azulejo é como um livro que ilustra a grande riqueza cromática quer da história quer da mentalidade e do gosto de cada época. [7]

O azulejo tem sido muito usado nas artes decorativas portuguesas tanto em revestimentos de superfícies interiores como exteriores, desde o início da sua utilização no século XVI. [8]

3.1 Enquadramento histórico do azulejo

As mais antigas peças de azulejos conhecidas, advêm de há cinco mil anos A.C. e foram encontradas em escavações no Egipto. Contudo, foram os árabes que levaram a arte do azulejo para Espanha quando ocuparam a Península Ibérica no século VIII e foi a partir de lá que se propagou por toda a Europa. [9]

O termo *azulejo* é de origem árabe e deriva das palavras “*al azulej*” [7] ou “*az-zulaich*” [10] que significa pedra lisa e polida.

A primeira aparição do azulejo em Portugal deu-se no início do século XVI (cerca de 1503). [9] Estes foram importados de Andaluzia, principalmente de Sevilha, sendo esta cidade o grande centro produtor de azulejos até meados do século XVI. [7]



Figura 8 – Convento da Conceição, Sala do Capítulo, Beja (Primeiro quartel do século XVI)

O primeiro contacto dos portugueses com o azulejo foi predominantemente na decoração dos interiores das suas igrejas, palácios e conventos (Figura 9 e Figura 10). [8]

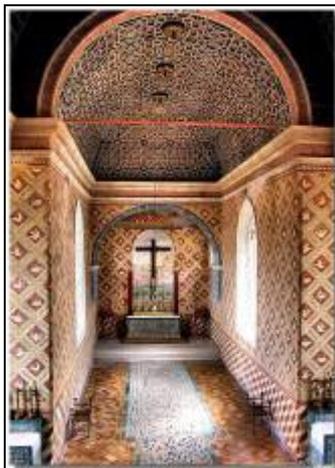


Figura 9 – Palácio Real de Sintra
(Azulejos Hispano-Mouriscos nas paredes)



Figura 10 – Palácio Real de Sintra

Na segunda metade do século XVI, surgiu o azulejo como o conhecemos hoje em dia, devido a uma transformação técnica. Desde essa época, o azulejo é simplesmente uma placa de barro quadrangular com uma face vidrada. [7] Embora ainda fosse grande a importação de azulejo, foi neste século, por volta de 1560, que, em Lisboa, se começaram a fabricar azulejos por ceramistas flamengos usando a técnica da majólica (técnica que permite a pintura directa sobre a peça já vidrada [17]). No final do século apareceram os azulejos históricos e os de repetição. [9]

No século XVII, em sequência do aparecimento dos azulejos de repetição, surgiram os célebres “tapetes” formados pela repetição de padrões policromos. Os “tapetes” mais trabalhados encontram-se, na maior parte das vezes, nas paredes e tectos das igrejas, como se pode ver na Figura 11. [7]



Figura 11 – Igreja de Marvilha em Santarém

A partir do último quartel do século XVII houveram diversos factores que provocaram profundas transformações na estética do azulejo. A policromia dos azulejos deu lugar ao monocromatismo, em que nos diversos padrões de “tapetes” predominavam o azul e o branco. [7] Contudo, até finais do século XVIII, a produção de azulejo era unicamente usada como decoração de interiores. [9]

Já no século XIX tudo mudou. A azulejaria de fachada começou a predominar em relação à azulejaria de interior.

Esta mudança poderá ter tido origem na expansão marítima dos portugueses no século XVI, quando partiam com os navios quase vazios e voltavam carregados de mercadorias como painéis decorativos destinados a igrejas e palácios e azulejos brancos meramente utilitários. O principal alvo de Portugal, nos territórios coloniais, era o Brasil, pelo facto das suas terem imensas riquezas naturais. Os portugueses levavam para lá produtos de fabrico nacional como azulejos (entre outros) e traziam em troca açúcar, café, ouro e madeiras exóticas. Contudo, foi o Brasil que começou a revestir as fachadas com azulejo, pelo facto do azulejo atender às diferentes condições climáticas da região, reflectir a luz solar, reduzir a absorção de água, ser um material de fácil limpeza, durável e barato. [8]

Numa primeira fase eram usados apenas azulejos brancos nas fachadas das igrejas, mas posteriormente começaram a ser utilizados azulejos policromados em prédios urbanos. A partir de meados do século XIX, com a independência do Brasil e o regresso de emigrantes portugueses às suas terras, os denominados “brasileiros”, esta prática difundiu-se no nosso país. Desde então

começaram a surgir as chamadas «casas de brasileiros» sobretudo nas regiões Norte do país (Porto, Ovar e Aveiro) e, com o passar do tempo, nas regiões Centro e Sul. [7, 8]



Figura 12 – Fundação Cultural do Maranhão, em São Luís

A azulejaria de exterior em Portugal abrange uma vasta gama de exemplares pertencentes a épocas e estilos muito diferentes e que se destinam a diversos fins como por exemplo: fontanários, coruchéus e relógios, registos, cruzes e alminhas, azulejos semi-industriais de fachada, fachadas especiais, cartelas datadas, letreiros e painéis publicitários, placas toponímicas, igrejas e capelas (Figura 13), estações de caminho-de-ferro, Arte Nova e Art Deco e azulejaria Moderna. [8]



Figura 13 – Igreja Paroquial de Válega (século XVII)

3.2 Indústrias cerâmicas e processos decorativos

3.2.1 Indústrias cerâmicas

No início do século XIX, devido à grande procura das «casas de brasileiros» (casas com revestimento em azulejo) e ao tratado de comércio entre o Brasil e Portugal, em 1834, surgiram diversas fábricas de azulejo nas regiões de Lisboa, Porto e Aveiro. [8]

As fábricas que tiveram um maior destaque nas regiões Norte foram: Fábrica de Massarelos (Porto, 1830); Fábrica de Miragaia (Porto, 1840); Fábrica do Carvalhinho (Porto, 1821 - 1878); Fábrica das Devesas (Gaia, 1865); Fábrica da Fonte Nova (Aveiro, 1882) e na região Sul foram: Fábrica Constância (1836); Fábrica Viúva Lamego (1849); Fábrica de Louça de Sacavém (Lisboa, 1850); Fábrica Santana (1860); Fábrica de Louça do Desterro (1889); Cerâmica Lusitana; Fábrica de Louça de Faianças Artísticas (Caldas da Rainha, 1850). [8, 10, 11, 12, 13, 14]

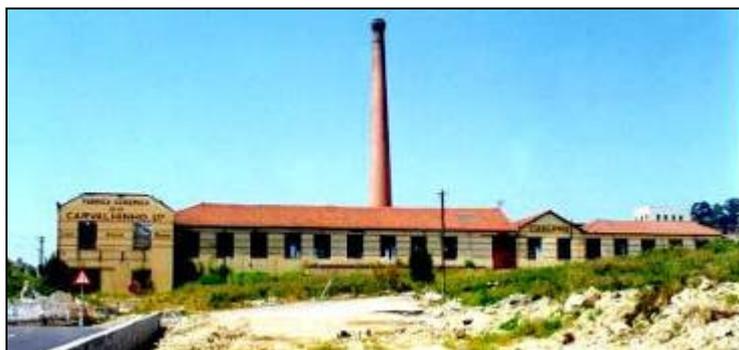


Figura 14 – Fábrica do Carvalhinho (Porto)

As indústrias cerâmicas que apresentam um maior interesse no âmbito da temática da dissertação são: a Fábrica do Carvalhinho (Figura 14), a Fábricas das Devesas e a Fábrica da Fonte Nova [15].

A Fábrica do Carvalhinho tinha como tradição a produção de faiança (peças em barro cozido, vidradas ou não [16]) pintada à mão. A técnica usada para a produção de uma elevada gama de azulejos de padrão e decorativos foi a estampagem mecânica. Estes apresentam geralmente produções florais simples e, por vezes, ornamentos de características geométricas. A sua marca do tardoz fazia com que os azulejos fossem facilmente reconhecíveis. [12, 13]

A Fábrica das Devesas destacou-se não só pela sua vasta produção de azulejos de fachada, mas também na azulejaria Arte Nova. Esta indústria usava a técnica da estampilha para proceder à pintura dos azulejos. [12, 13]

Por fim, mas não menos importante, a Fábrica da Fonte Nova foi a principal fabricante de azulejos no distrito de Aveiro e na região Norte do país. Esta fábrica produziu não só azulejos

semi-industriais de padrão, estampilhados, mas também painéis decorativos de vários estilos. Pode-se dizer que encontraram um estilo muito próprio até mesmo inconfundível. A azulejaria Arte Nova apresentava tons vivos em que predominava o rosa, o azul, o verde, o roxo e o amarelo, pintados manualmente. [12, 13]

3.2.2 Processos Decorativos

Os principais processos decorativos a que as indústrias cerâmicas recorriam para proceder à aplicação do padrão pretendido eram:

- A técnica da estampilha que consistia na aplicação sobre o azulejo (com vidrado branco), de uma estampilha com recortes correspondentes aos desenhos, sobre o qual se passava uma trincha com a cor respectiva. Cada azulejo necessitava de tantas estampilhas quanto o número de cores a utilizar. Os azulejos decorados através desta técnica eram policromáticos. [8, 12, 16]

- A técnica da estampagem (ou decalcomania) consistia na prensagem mecânica de uma estampa de papel numa das faces do azulejo, sobre o qual era aplicado uma camada de vidrado transparente, através do qual se vê a estampa colocada. Os azulejos decorados através desta técnica eram principalmente monocromáticos, de tons neutros. [8, 12, 16]

- Por fim, uma outra técnica usada consistia na produção de azulejos de meio-relevo, obtidos através da prensagem de moldes de madeira, gesso ou metal. Os azulejos decorados através desta técnica eram mono ou policromáticos coloridos. [8,12, 16]

3.3 Características dos azulejos de fachada

Os azulejos são peças cerâmicas de pouca espessura, normalmente quadradas, cujas dimensões se encontram entre os 13 e os 16 cm (dependendo da época de fabrico), que são constituídas por uma superfície vidrada (Figura 16), pela chacota e pelo tardez (Figura 15). A denominação de chacota (ou biscoito) é feita para a peça de azulejo que ainda não foi vidrada (só teve uma cozedura). O tardez é a face oposta ao vidrado do azulejo que pode apresentar diferentes tipos de relevo (liso, quadrículas mais pequenas ou mais largas, entre outros) o que vai contribuir para uma boa aderência. A superfície vidrada pode ser monocromática ou policromática, lisa ou em relevo. [8, 9, 17]



Figura 15 – Chacota e tardez de um azulejo



Figura 16 – Superfície vidrada de um azulejo

3.3.1 Enquadramento Normativo

A norma que tem como objectivo definir, caracterizar e classificar os ladrilhos cerâmicos é a Norma Europeia EN 14411 – Ceramic tiles – Definitions, classification, characteristics and marking: 2003. [18, 19]

Para se proceder à classificação dos ladrilhos cerâmicos, esta norma estabelece diferentes critérios a ter em conta em grupos de produtos.

Um deles relaciona os diferentes tipos de ladrilhos em função do processo de conformação que podem ser: por extrusão, por prensagem a seco ou por outros processo de conformação e o outro relaciona os diferentes grupos de ladrilhos em função do seu coeficiente de absorção de água (E). [18, 19]

De acordo com a utilização, estes terão que respeitar determinadas características específicas [18, 19]:

- Quando se está perante uma aplicação exterior deve-se atender à resistência ao gelo, à resistência ao impacto e à dilatação térmica linear.
- Caso se esteja perante uma situação de ladrilhos vidrados deve-se atender à resistência à fendilhação.

- Quando se está perante um caso de ladrilhos de cor uniforme deve-se atender a pequenas diferenças de cor.

Existem também uma série de ensaios para a determinação das características dimensionais e das propriedades físicas e químicas dos ladrilhos cerâmicos que a norma EN 14411 remete para as normas de ensaio da série EN ISO 10545. [18, 19]

3.3.2 Vantagens do azulejo de fachada

Existe uma série de vantagens na aplicação de azulejos de fachadas que passo seguidamente a enumerar:

- Baixo preço [8];
- Elevada durabilidade [8];
- Resistente ao ataque dos ácidos, álcalis, humidade e vapores [20];
- Resistência às manchas (fácil limpeza) [8, 20];
- Facilidade de aplicação [20];
- Boa adesão mecânica às argamassas colantes [20];
- Baixa expansão térmica [20];
- Enriquecimento de fachadas com o cromatismo, cintilação do esmalte, o relevo e a animação de superfícies [8].

3.3.3 Patologia mais frequente do azulejo de fachada

As principais patologias que existem ao nível do azulejo de fachada estão relacionadas com o conjunto revestimento-suporte. Estas anomalias podem ser agrupadas em dois grandes grupos que seguidamente se passará a enumerar:

- a) Anomalias que provocam a rotura do sistema de revestimento:
 - Descolamento [21] (Figura 18);
 - Fendilhação [21];
 - Esmagamento ou lascagem dos bordos dos ladrilhos [21] (Figura 17);



Figura 17 – Esmagamento entre azulejos



Figura 18 – Descolamento do ladrilho cerâmico

b) Anomalias que se manifestam à superfície dos ladrilhos:

- Fissuração ou descamação do vidrado [20, 21];
- Desgaste ou riscagem [20, 21] (Figura 19);
- Enodoamento irreversível [21];
- Alteração de cor ou de brilho [21];
- Eflorescências [21];
- Deficiências de planeza [21].



Figura 19 – Desgaste do vidrado do azulejo

3.3.4 Azulejaria de fachada em Ovar



Figura 20 – Fachada azulejada da companhia de teatro Contacto

A cidade de Ovar é considerada um autêntico museu vivo do azulejo, devido ao seu vasto património azulejar. É uma espécie de museu ao ar livre. Esta cidade é mesmo denominada Cidade Museu do Azulejo. [22, 23, 24, 25]

Ao percorrer a cidade pode-se observar inúmeras ruas e praças cheias de casas cobertas de cor e com uma grande variedade de padrões azulejares que embelezam de uma maneira única a cidade de Ovar. [23] Para além das fachadas azulejadas existem numerosas peças de faiança (balaustradas e estatuetas) que vão dar um toque peculiar às casas. Todo este panorama característico serve de “cartão de visita” da cidade. [22, 25]

Esta tradição chegou a Ovar na segunda metade do século XIX, tal como se pode constatar no que já foi descrito no ponto 3.1. [22]

As indústrias cerâmicas que produziam a maior parte dos azulejos da cidade foram a Fábrica das Devesas e a Fábrica do Carvalhinho. E as técnicas usadas no seu fabrico foram a técnica da estampilha, da estampagem e a técnica da produção de azulejos de meio-relevo já descritas no ponto 3.2.2. [15]

Apesar da curta história de azulejos em Ovar, pelo facto de não existirem azulejos muito antigos (séc. XIX), a sua beleza é enorme e única, atribuindo à cidade um carácter especial. Pode-se também dizer que cada casa é uma pequena relíquia onde cada pormenor merece um olhar detalhado. [23, 24]

4 Argamassas para reabilitação de fachadas

Denomina-se por argamassa (pré-lat. *arga* + latim *massa*) uma mistura constituída por ligantes, agregados, aditivos, adjuvantes e água. Os ligantes podem ser aéreos (cal aérea), hidráulicos (cimento, cal hidráulica e gesso) e sintéticos (resinas). O agregado mais comum é a areia, mas também são usados outros agregados como por exemplo pedra britada e pó de pedra. Os aditivos usados são normalmente as pozolanas, as fibras e as resinas. Por fim, os adjuvantes podem ser, por exemplo, hidrófugos, introdutores de ar e plastificantes. [26, 27]

As argamassas podem desempenhar diferentes funções: aglomerantes, assentamento, reboco exterior e interior, acabamento, suporte de pinturas e colagem de azulejos.

Quando se pretende intervir em fachadas de edifícios antigos, o primeiro aspecto a ter em conta é a conservação dos revestimentos existentes, pelo facto destes terem um papel fundamental na conservação patrimonial. [28, 29] A conservação destes edifícios, por vezes, necessita de reparações pontuais ou, até mesmo, de operações de consolidação. Em certos casos é necessário recorrer-se à substituição tanto parcial como total da argamassa existente. As argamassas deverão ser substituídas por argamassas que se adequem à situação em causa, atendendo sempre aos requisitos funcionais e estéticos. [28, 30]

Estes são os passos que devem ser efectuados antes da reparação de uma fachada de um edifício antigo, embora, muitas vezes, face ao desconhecimento da constituição da argamassa de revestimento, a escolha mais corrente para a sua reparação seja mesmo a remoção de todo o revestimento e a sua substituição por uma nova argamassa, que, geralmente, para além de descaracterizar os edifícios, não se ajusta ao funcionamento da parede existente e, por vezes, resulta mesmo numa durabilidade inferior. [29, 31]

Das argamassas estudadas a que tem uma composição mais semelhante à das argamassas antigas é a argamassa cujo ligante é cal aérea. Esta aproxima-se bastante da estética das argamassas antigas, embora apresente problemas de durabilidade quando expostas à chuva e ao gelo. Infelizmente, em Portugal, perdeu-se o domínio da tecnologia da cal, o que faz com que os resultados não sejam os desejáveis.

4.1 História e origem das argamassas

A argamassa como material de construção remonta os milhares de anos, embora as indústrias de argamassas datem o fim do século XIX. Há mais de 10 mil anos atrás, a argamassa de cal foi descoberta na Galileia perto de Yiftah'el (Israel). [32]

Supõe-se que há mais de 8 mil anos, os povos primitivos recorreram ao adobe (argila amassada com água e seca ao sol) para construir as suas casas na tentativa de melhorar a sua qualidade de vida [33, 34].

Contudo, ao longo dos séculos, algumas civilizações evoluíram a técnica usada “esculpindo” as pedras em moldes apropriados e passaram a fabricar uma massa plástica que continha cal, gesso, areia, pedras, fragmentos de tijolo e água, tornando as edificações mais estáveis. Estas argamassas foram usadas, há cerca de 6 mil anos, na Babilónia, exactamente por conferirem edificações sólidas que duraram séculos. Este método foi utilizado durante cerca de 3 mil anos, até que decidiram misturar a pozolana com os restantes inertes, tornando esta argamassa hidráulica muito usada pelas civilizações Fenícias, Gregas e Romanas. [33, 34] Ao misturar aditivos e adjuvantes, como sabões, resinas, proteínas e cinzas, com ligantes e agregados, fazia-se aumentar o desempenho das argamassas. Por exemplo, os romanos utilizavam sangue, banha e leite como adjuvantes, tentando aumentar a trabalhabilidade das argamassas hidráulicas. [31, 34]

No fim do século XIX ficou registado o aparecimento das argamassas industrializadas fabricadas na Europa, o que fez com que a qualidade das argamassas melhorasse e que se criassem novos produtos mais específicos. [33, 34]

4.2 Tipos de argamassa

Actualmente existem diversos tipos de argamassa usados na reabilitação de fachadas de edifícios antigos. As argamassas mais usadas nestes revestimentos são: [26, 28]

- Argamassas de cimento;
- Argamassas de cal hidráulica natural;
- Argamassas de cal hidráulica artificial;
- Argamassas de cal aérea e cimento;
- Argamassas de cal aérea;
- Argamassas de cal aérea aditivada (com pozolanas, pó de tijolo, outros aditivos minerais e “gordura”);

- Argamassas pré-doseadas;
- Argamassas de ligantes especiais.

As argamassas de cimento não são as mais apropriadas para o revestimento de fachadas antigas, porque, para além de terem uma estética final muito diferente à das argamassas pré-existentes, a presença de sais solúveis na sua composição contribui para a degradação das fachadas. A sua rigidez excessiva e a capacidade limitada de admitir a secagem da parede são outras das desvantagens do uso de argamassas de cimento neste tipo de fachadas. [28]

As argamassas de cal aérea, cuja composição é mais parecida com as argamassas antigas, como já foi referido no ponto 3.2, proporcionam uma estética mais aproximada do antigo. Por sua vez, apresentam problemas de durabilidade, principalmente quando se encontram expostas à chuva e, ainda mais, ao gelo, provavelmente pela falta de conhecimento nesta área. [28]

Já as argamassas intermédias (que se encontram entre estes dois tipos de argamassas) contribuem para o melhoramento de certas características, anulando parcialmente os inconvenientes.

As argamassas pré-doseadas apresentam características e comportamentos muito diferentes, pois a sua composição é muito variada, por isso o seu estudo tem de ser feito individualmente. [28]

4.3 Argamassas de cal

As superfícies arquitectónicas e os acabamentos exteriores das paredes nos edifícios antigos são muito importantes para a autenticidade da sua imagem enquanto legado histórico. Formam um bilhete de identidade das tecnologias e materiais empregues na época.

Em quase todas as intervenções de reabilitação de fachadas os revestimentos originais são sistematicamente removidos e substituídos por soluções, muitas vezes, inadequadas quer construtiva quer arquitectonicamente. Desta forma, perde-se, definitivamente, todo o conhecimento, identidade e significado histórico contido nas várias camadas que compõem os revestimentos, para além do comportamento e vida útil do elemento construtivo e, conseqüentemente, do edifício. [35]

Nas obras de conservação e reabilitação de fachadas de edifícios antigos, uma das soluções a adoptar foi o emprego de argamassas à base de cal (de vários tipos e propriedades), pelo facto de, para além de questões energéticas e ambientais, ter um coeficiente de expansão térmica bastante mais baixo do que, por exemplo, o cimento.

Têm sido feitos vários estudos em que as argamassas de materiais antigos têm surpreendido pelo seu bom desempenho e por manterem as suas propriedades ao longo dos anos. A sua

resistência e protecção eram asseguradas principalmente pela espessura e certos mecanismos de degradação eram evitados, pelo facto do seu sistema poroso evitar a permanência prolongada da água na estrutura e facilitar a sua evaporação para o exterior. Sendo assim, as atenções estão centradas nas propriedades da performance das argamassas de cal aérea ou hidráulica e nas vantagens da utilização de certos aditivos pozolânicos. [35, 36]

As argamassas de cal aérea foram utilizadas durante séculos, devido à sua fácil obtenção. Algumas das vantagens deste tipo de argamassa são: o seu potencial de eflorescência é baixo, bastante permeável à água e vapores e permite movimentos limitados da estrutura sem produzir tensões. Para além das suas vantagens também apresenta alguns inconvenientes, tais como: tempos de presa e endurecimento lentos (principalmente em climas com elevado nível de humidade), contracção volúmica durante a presa que pode provocar tensões críticas e, até mesmo, a fractura (principalmente em grandes volumes), propriedades mecânicas médias a baixas, baixa coesão interna e elevada porosidade, o que poderá levar à cristalização de sais e à degradação devido ao gelo-degelo. [35]

4.3.1 Descrição e caracterização dos seus constituintes

Como já se viu anteriormente, a argamassa é uma pedra artificial constituída pela mistura de ligantes inorgânicos, agregados e água, e, se necessário, com aditivos e adjuvantes. [37]

Sendo assim, as argamassas de cal aérea são constituídas por cal (ligante), agregados, água e aditivos. [26]

Seguidamente descrever-se-á os vários elementos que constituem uma argamassa inorgânica.

- Agregados:

Os agregados são um dos constituintes da argamassa, sendo este normalmente o componente maioritário, por esse facto a sua qualidade é um factor muito importante, pois pode influenciar as propriedades finais. Na escolha do agregado é importante ter sempre em conta a baixa inércia química, o baixo coeficiente de expansão térmica, a durabilidade, a forma e gradação das partículas e a percentagem e tipo de contaminantes que se encontram no local de extracção. [35]

Quanto à origem, os agregados podem classificar-se como naturais ou artificiais. Os naturais encontram-se na natureza e podem ser usados sem sofrerem qualquer transformação. [37] Estes são geralmente constituídos por partículas arredondadas e lisas. [35] Quanto aos artificiais, estes são obtidos através da fragmentação “forçada” de rochas [37] e são geralmente constituídos por partículas angulosas [35].

Os agregados mais usados na preparação de argamassas são a areia siliciosa e o saibro [37], sendo estes os que vão ser usados no campo experimental da presente dissertação.

Segundo as dimensões das partículas, a areia podem ser classificada como: fina (diâmetro das partículas inferior a 0.5 mm), média (diâmetro das partículas compreendido entre os 0.5 e os 2 mm) e grossa (diâmetro das partículas superior a 2 mm). [35, 37]

- Ligante:

Os ligantes são materiais que têm a capacidade de se aderir a outros. Estes podem ser divididos em dois grupos: ligantes aéreos e ligantes hidráulicos. Na presente dissertação, o ligante a ser usado será a cal aérea. [34] Dentro do grupo das argamassas de cal existem dois subgrupos: a cal aérea e a cal hidráulica. A característica que divide estes dois subgrupos de argamassas de cal é a sua hidraulicidade, que reflecte a capacidade de uma argamassa estabelecer presa debaixo de água, sem contacto com o dióxido de carbono da atmosfera. [35, 38]

A cal aérea obtém-se através da decomposição do carbonato de cálcio do calcário calcinado em fornos de cal à temperatura de cerca dos 900°C [39] e é um tipo de cal que endurece em contacto com o ar por reacção com o dióxido de carbono. [Eq. 1]



Quanto ao teor de impurezas, a cal pode ser classificada como gorda ou magra. A classificação de cal aérea gorda é aplicada quando esta resulta de uma rocha que contém até 1% de argila. Esta cal produz no processo de hidratação uma pasta consistente e untuosa. Por sua vez, a cal aérea magra resulta de uma rocha que contém de 1% a 5% de argila. Esta cal ao adicionar-se forma uma pasta pouco consistente. A cal aérea magra não aumenta tanto de volume como a cal aérea gorda. [33, 37]

Como o magnésio aparece muitas vezes associado ao cálcio, são frequentes na natureza calcários com maior ou menos percentagem de dolomite (MgCO_3). Assim, a cal aérea pode ser cálcica quando é sobretudo constituída por óxido de cálcio (CaO) ou dolomítica quando é constituída sobretudo por óxido de cálcio e magnésio. [40]

A cal aérea deve ser usada em conformidade com a norma BS EN459.

- Adições:

Os aditivos são substâncias adicionadas que visam melhorar o rendimento de uma propriedade. Existem aditivos para diversas finalidades que dependem do uso que será feito. [37]

Na presente dissertação, às argamassas de cal vai-se adicionar pozolana, neste caso metacaulino. A pozolana é um material natural ou artificial que contém sílica de forma reactiva. Uma definição mais formal dada pela ASTM C593-95 descreve pozolana como um material silicioso ou silico-aluminoso que possui poucas ou nenhuma propriedades hidráulicas, mas que poderá reagir quimicamente com álcalis e hidróxidos alcalino-terrosos a temperaturas vulgares formando ou ajudando à formação de compostos com propriedades hidráulicas, quando esta se encontra finamente dividida e na presença de humidade. As pozolanas podem ser naturais, quando oriundas de fenómenos vulcânicos ou artificiais, quando obtidas através de um tratamento de materiais com base siliciosa sujeitos a temperaturas de cozedura específica (dependente de cada material). Estas também se podem dividir em três classes: a Classe N engloba as pozolanas naturais (calcinadas ou não) e diversos materiais que necessitam de calcinação; à Classe F cabem-lhe as cinzas volantes produzidas a partir de antracite queimada ou carvão; e a Classe C abrange as cinzas volantes produzidas a partir de lignite ou carvão sub-betuminoso.

Particularizando, como já foi referido, a pozolana que será estudada é o metacaulino. Esta pozolana artificial é obtida através da calcinação de caulino (argila caulinítica) a temperaturas entre os 650°C e os 850°C e a sua moagem deve apresentar uma finura entre 700 m²/kg e 900 m²/kg. [31]

A reacção pozolânica pode ser descrita como a reacção entre compostos siliciosos e aluminosos reactivos da pozolana e hidróxido de cálcio.

Da reacção pozolânica ocorre a formação de silicatos de cálcio hidratados, silicoaluminatos e aluminatos de cálcio, dado o elevado teor de alumínio presente no metacaulino.

- Água:

A água a usar na preparação da argamassa não deve conter substâncias em suspensão ou dissolvidas nem deve advir das águas da chuva (pH <7) nem de águas paradas (contêm matérias orgânicas em grandes quantidades).

É necessário ter-se muita atenção quanto à temperatura a que se encontra a água, pois esta pode alterar o tempo de presa.

Quanto à quantidade da água a ser usada na preparação de argamassas, esta depende do tipo de agregado, embora tenha de ser suficiente para hidratar o ligante e molhar a areia. [37]

4.3.2 Caracterização física, mecânica e química das argamassas de reabilitação

Ao longo da dissertação tem estado sempre patente a importância do estudo das argamassas na conservação de edifícios antigos. Estas argamassas de reabilitação têm de satisfazer certos aspectos para conseguirem um bom comportamento dos revestimentos aplicados sobre paredes antigas. Alguns desses requisitos são: [41]

- Não contribuir para acelerar a degradação dos elementos pré-existentes (aspectos físicos, mecânicos e químicos);
- Preservar a autenticidade da fachada;
- Proteger e conservar os elementos a que se destina;
- Garantir a integridade estética da fachada;
- Ser durável, reversível e reparável;
- Não descaracterizar o edifício, mantendo a identidade funcional, material e tecnológica.

Para tal, as argamassas de reabilitação têm de ser sujeitas a diversos ensaios, de modo a serem definidas as características físicas, mecânicas e químicas. [42]

Assim sendo, a nova argamassa deve ser compatível mecânica, física e quimicamente com os materiais pré-existentes e esta é condicionada pelas seguintes características: [29, 42]

- Características mecânicas:
 - Resistência à tracção;
 - Resistência à compressão;
 - Resistência à flexão;
 - Determinação do módulo de elasticidade;
 - Determinação da aderência ao suporte.
- Características físicas:
 - Características relacionadas com o comportamento face à água que são a permeabilidade à água e ao vapor de água, capilaridade e absorção de água;
 - Características térmicas que são a condutividade térmica e o coeficiente de dilatação térmica.

De notar que apenas o primeiro ponto será estudado na presente dissertação.

- Características químicas:
 - Limitação do teor de sais solúveis da nova argamassa;
 - Resistência a sais solúveis pré-existentes nas fachadas.

4.3.3 Enquadramento normativo

A norma europeia que fornece as definições e especificações a ter em conta nas colas para ladrilhos cerâmicos é a Norma Europeia EN 12004 – Adhesives for tiles – Definitions and Specifications. Esta norma é aplicável a todas as colas destinadas a ladrilhos cerâmicos para utilizações internas e externas de azulejos em paredes e pavimentos. Esta, para além de fornecer a terminologia relativa aos produtos, os métodos de trabalho, as propriedades de aplicação, etc., também especifica os valores de requisitos funcionais para colas de ladrilhos cerâmicos. [43]

Estas argamassas adesivas ou colantes são denominadas como cimentos-cola. Os cimentos-cola são definidos como uma mistura de ligantes hidráulicos, inertes e aditivos orgânicos. Este é misturado com água ou outro líquido imediatamente antes da aplicação. [19]

A norma EN 12004 distingue ainda três tipos de adesivos para ladrilhos cerâmicos em função da sua composição química e cada um destes tipos está subdividido em características fundamentais e opcionais.

A norma BS 5980 (British Standards Institutions) e Cahier 3262 do Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) fazem ainda referência à classificação das argamassas e adesivos em função da resistência à acção da água, em que os dividem em três níveis de sensibilidade à humidade. Por sua vez, a directiva UEAtc (Union Européen pour L'agrément Technique dans la Construction) faz especificações relativas às condições de utilização necessárias para um certo grau de sensibilidade à acção da água, ao contrário das mencionadas anteriormente.

Existem diversas normas relativas às argamassas. Por exemplo, a norma alemã DIN 18.156 – 2 (Deutsches Institut Normung, 1978) refere-se apenas ao cimento-cola e apresenta uma classe única de argamassa e as normas A118.1 e A118.4 (American National Standards Specifications, 1999) referem-se às argamassas à base de cimento e estas são distinguidas em função da sua composição. [19]

De notar ainda a existência do Dicionário Técnico de Argamassas Europeias – EMOdico, produzido pela European Mortar Industry Organization que apresenta definições dos diversos tipos de argamassas, suas características de aplicação e suas prestações finais. [19, 44]

A Tabela 1 e a Tabela 2 seguintes referem-se aos ensaios.

Tabela 1 – Características exigidas aos ladrilhos cerâmicos – Normas de Ensaio [19]

Características		Norma de Ensaio
Dimensões e Qualidade Superficial	Comprimento e largura	ISO 10545-2
	Espessura	
	Rectilinearidade das arestas	
	Planaridade (curvatura e empeno)	
	Qualidade superficial	
Propriedades Físicas	Absorção de água	ISO 10545-3
	Resistência à flexão	ISO 10545-4
	Módulo de rotura	
	Dilatação térmica linear	ISO 10545-8
	Resistência ao choque térmico	ISO 10545-9
	Resistência à fendilhagem	ISO 10545-11
	Resistência ao gelo	ISO 10545-12
	Expansão por humidade	ISO 10545-10
	Pequenas diferenças de cor	ISO 10545-16
Propriedades Químicas	Resistência às manchas	ISO 10545-14
	Resistência a ácidos e bases em baixas concentrações	ISO 10545-13
	Resistência a ácidos e bases em altas concentrações	
	Resistência aos produtos químicos e aditivos para a água de piscinas	

Tabela 2 – Características exigidas às argamassas – Normas de Ensaio [44]

Características	Norma de ensaio
Eflorescência	EN 13318
Resistência ao escorregamento	EN 13318
Retenção de água	EN 1015-8
Porosidade	EN 1015-7
Capilaridade	EN 1015-18; EN 13888
Permeabilidade ao vapor de água	EN 1015-19
Aderência	EN 1348
Resistência à tracção	EN 1348; EN 1015-2; EN 12636
Resistência ao corte	EN 1322; EN 12615
Resistência à flexão	EN 1015-11; EN 13888
Resistência à compressão	EN 1015-11; EN 13888

4.3.4 Patologia das argamassas e na interface Azulejo/Argamassa

Não se pode pensar nas anomalias existentes nas argamassas por si só, pois estas estão directamente relacionadas com a interface azulejo/argamassa.

Existem diversos casos de patologia das argamassas de assentamento de ladrilhos que provocam diversos problemas ao nível dos azulejos. Alguns desses problemas são: a fendilhação, a presença de água e as deformações excessivas. [21, 45]

Existem ainda outros problemas, mas, desta vez, relativos às características dos materiais, pois cada um deles (argamassa e azulejo) tem o seu coeficiente de dilatação térmica, o seu coeficiente de Poisson, a sua capacidade de absorção de água e o seu módulo de elasticidade. Portanto, no conjunto azulejo/argamassa estes podem não ter um bom desempenho quanto à sua função. [21]

Seguidamente serão sistematizados diversos casos de patologia no revestimento cerâmico, os seus sintomas e suas causas mais prováveis (Tabela 3) e em rebocos antigos (Tabela 4).

Tabela 3 – Sintomas e causas de diversos tipos de patologia em revestimentos cerâmicos [45]

Tipo de patologia	Sintomas	Causas mais prováveis
Descolamento	Perda de aderência, relativamente ao suporte, com ou sem empolamento. Na maior parte dos casos não é possível recolocar os ladrilhos por estes não cabem no espaço que anteriormente ocupavam.	<ul style="list-style-type: none"> • Movimentos diferenciais suporte-sistema de revestimento. • Aderência insuficiente entre camadas do sistema de revestimento. • Falta de juntas elásticas no contorno do revestimento. • Deficiências do suporte (deficiências de limpeza, planeza, porosidade).
Fissuração	Fissuras que atravessam toda a espessura dos ladrilhos	<ul style="list-style-type: none"> • Fendilhação do suporte, ou movimentos diferenciais suporte-revestimento que provocam tracção nos ladrilhos. • Contração ou expansão do produto de assentamento dos ladrilhos. • Choque violento ou choque em ladrilhos mal assentes. • Rotura por flexão em ladrilhos mal assentes.
Esmagamento ou lascagem nos bordos dos ladrilhos	-	<ul style="list-style-type: none"> • Movimentos diferenciais suporte-sistema de revestimento, que resultam em compressão nos ladrilhos.
Enodoamento prematuro	Manchas de produtos enodoantes na face útil dos ladrilhos	<ul style="list-style-type: none"> • Selecção inadequada dos ladrilhos, que não teve em conta a severidade do uso inerente ao espaço revestido; ladrilhos com classificação funcional insuficiente para o espaço revestido. • Abertura dos poros na superfície dos ladrilhos; em consequência do desgaste, ou de ataque químico, que retêm a sujidade.
Riscagem ou desgaste prematuro dos ladrilhos	Zonas evidenciando riscagem ou desgaste profundo ou desaparecimento do vidrado dos ladrilhos	-
Alteração de cor	Alteração localizada da cor inicial dos ladrilhos	<ul style="list-style-type: none"> • Desgaste nas zonas de maior circulação. • Ataque químico.
Desprendimento do vidrado	Crateras rodeadas por fissuras concêntricas.	<ul style="list-style-type: none"> • Selecção inadequada dos ladrilhos que não teve em conta a severidade das acções de choque ou de gelo que se verificam em uso.
Deficiências de planeza	-	<ul style="list-style-type: none"> • Irregularidades de superfície do suporte que o produto de assentamento não pode disfarçar. • Não cumprimento das regras de qualidade sobre planeza geral ou localizada da superfície do sistema. • Empeno dos ladrilhos.

Tabela 4 – Anomalias predominantes nos rebocos antigos [42]

Tipo	Causas mais prováveis
<p>Humidade</p> <p>1) de obra ou construção 2) de terreno 3) de precipitação 4) de condensação 5) devida a fenómenos de higroscopicidade 6) devida a causas fortuitas</p>	<p>1) Aplicação do reboco antes da secagem adequada do suporte. 2) Existência de zonas de paredes em contacto com a água do solo; existência de materiais de elevada capilaridades nas paredes; inexistência ou deficiente posicionamento de barreiras estanques nas paredes. 3) Revestimentos com elevada permeabilidade à água. 4) Condensação do vapor de água que está em contacto com o revestimento ou no interior. 5) Existência de sais higroscópicos no interior dos revestimentos que fixam água em grandes quantidades, constituindo uma espécie de depósito de água. 6) Roturas de canalizações; entupimento de caleira, algerozes e tubos de queda; deficiências de remates da cobertura, etc.</p>
<p>Fendilhação e Fissuração</p>	<p>Causas atribuíveis à constituição do reboco:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Retracção do reboco • Dilatações e contracções higrotérmicas • Gelo • Deficiente dosagem na execução da argamassa • Espessura inadequada do revestimento <p>Causas atribuíveis ao suporte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deslocamentos do suporte • Reacções com sais existentes no suporte • Absorção excessiva do suporte <p>Outras causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concentração de tensões junto a aberturas • Corrosão de elementos metálicos: ligadores, canos, redes metálicas
<p>Eflorescências e Criptoflorescências</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Presença prolongada de humidade • Sais solúveis presentes no reboco, no suporte ou na água infiltrada • Cal não carbonatada
<p>Biodeteorização (algas, musgos, líquenes, fungos, plantas diversas e animais de porte)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Presença prolongada de humidade • Falta de ventilação • Iluminação • Acumulação de pó, terra e sujidade na superfície do revestimento • Acumulação de poluentes resultantes da actividade industrial (óxido de nitrogénio, óxido de enxofre, derivados do petróleo, etc.) • Porosidade elevada do revestimento
<p>Perda de aderência (descolamento, abaulamento, destacamento)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Presença de humidade • Presença de sais • Dilatações e contracções térmicas (variações nas dimensionais do reboco) • Movimentos do suporte • Erros de execução do revestimento: excesso de água na amassadura, falta de humedecimento conveniente do suporte, falta de limpeza da superfície a ser revestida, falta de rugosidade suficiente do suporte, composição pouco adequada da argamassa • Elevada impermeabilidade à água do suporte • Insuficiente permeabilidade ao vapor de água do revestimento
<p>Perda de Coesão ou Desagregação</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Humidade seguida de cristalização de sais • Reboco fraco, sem dureza superficial • Acção de microrganismos e organismos • Reacção química entre os materiais que constituem os revestimentos e os compostos naturais ou artificiais (poluição) contidos na atmosfera
<p>Erosão</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Humidade • Esforços mecânicos de natureza diversa (atritos, golpes, etc.) • Acções físicas dos agentes atmosféricos (vento, chuva, variação de temperatura) • Perda de coesão
<p>Sujidade</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Escorrimento da água de chuva • Acção do vento • Textura superficial do reboco (rugosidade)

Existem diversas causas de fissuração nos rebocos que é importante enunciar, pelo facto de estes provocarem diversos casos de patologia ao nível dos revestimentos cerâmicos. Algumas destas causas são:

- Fissuração por retracção da argamassa;
- Fissuração devida a deficiente adaptação ao suporte;
- Fissuração devida ao gelo;
- Fissuração devida a misturas cimento-gesso;
- Fissuração devida a concentração de tensões junto a aberturas;
- Fissuração devida à corrosão de elementos metálicos;
- Fissuração devida a deslocamentos do suporte;
- Fissuração devida a reacções com sais existentes no suporte;
- Fissuração devida a comportamentos diferenciais de suportes heterogéneos;
- Fissuração devida a absorção excessiva do suporte;
- Fissuração devida a variações dimensionais diferenciais entre o reboco e o suporte;
- Fissuração devida à retracção do suporte.

5 Procedimentos de análise e ensaios efectuados

Este capítulo incidirá nos ensaios e procedimentos desenvolvidos com o objectivo de caracterizar as argamassas antigas, as argamassas desenvolvidas e, por fim, os painéis executados nas fachadas que foram alvo de recolha de amostras.

5.1 Argamassas antigas

Os ensaios efectuados nas argamassas antigas foram: difracção de Raios X (DRX), análise termogravimétrica (ATG), absorção de água por capilaridade e permeabilidade ao vapor de água. O esquema adoptado na execução dos referidos ensaios encontra-se no seguinte organograma (Figura 21).

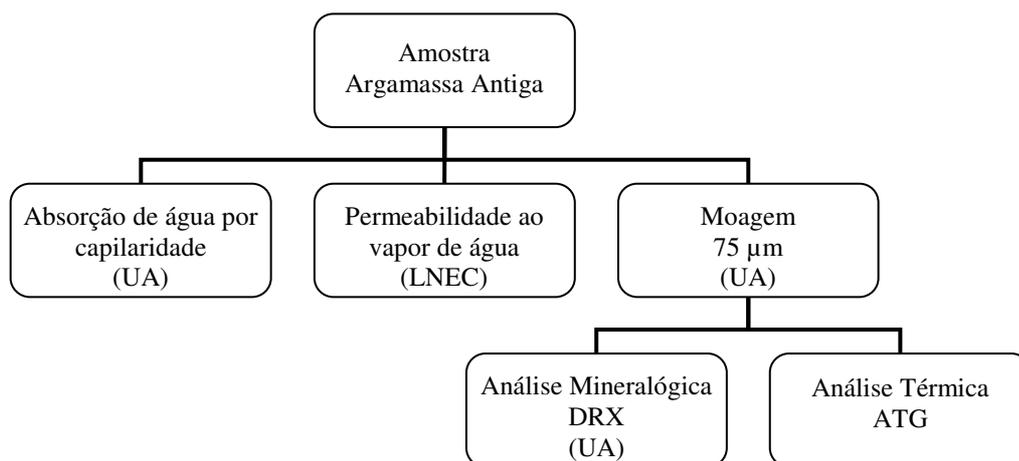


Figura 21 – Organograma analítico utilizado no estudo das amostras de argamassas antigas.

O recurso ao método de análise térmica (análise termogravimétrica (ATG)) permite apurar alguns componentes das argamassas e a sua quantificação.

O estudo mineralógico e químico efectuado complementa as análises e ensaios realizados, permitindo diversas vezes esclarecer ou facilitar a interpretação de alguns resultados. A difracção de raios x (DRX) fornece a informação qualitativa dos minerais cristalinos existentes na amostra. [31]

5.1.1 Difracção de Raios X (DRX)

A utilização desta técnica de análise permite a obtenção de informação qualitativa relativa aos compostos cristalinos existentes nas amostras, complementando desta forma as restantes análises efectuadas.

Através da incidência, na amostra pulverizada, de raios X e da sua difracção pelos cristais, é possível obter um difractograma onde se podem ler os registos pertencentes aos diversos materiais cristalinos que compõem a argamassa.

O processo envolveu a moagem e secagem a baixa temperatura das amostras como preparação para análise no Difractómetro de Raios-X Philips X-Pert Pró. [31]

Para a realização deste ensaio, começou-se por secar e posteriormente moer as amostras. Estas foram moídas de dois modos diferentes, um deles até a amostra ficar em pó e outro de modo a dividir a amostra apenas os diversos grãos para posteriormente ser passada pelo peneiro de 75 micrómetros, com o fim de se analisar a fracção fina, pois esta dará mais indicações relativas ao ligante e outros materiais existentes nesta fracção. Sendo assim, existem duas fracções, a passada (fracção fina) e a total.

5.1.2 Análise Térmica

A análise termogravimétrica (ATG) fornece um termograma contínuo da variação de massa de um material em função da temperatura a que este é aquecido, através de aquecimento a velocidade constante. Neste registo figuram variações mais ou menos acentuadas correspondentes a alterações químicas no material como por exemplo desidroxilação, oxidação, carbonatação ou hidratação. Cada material tem a sua curva típica, permitindo assim a sua detecção através desta técnica. Para esta análise foi utilizado o equipamento Netzsch STA 409 C. A gama de temperaturas usada situou-se entre os 20 e os 1100°C, com uma taxa de aquecimento de 10°C/min. [31]

5.1.3 Absorção de água por capilaridade

O ensaio para a determinação da absorção de água por capilaridade, desenvolvido no LNEC, descrito na Ficha de Ensaio Pa 40.1 [46], foi aplicado às amostras ensaiadas, incluindo uma pequena alteração no que concerne à impossibilidade da existência do cesto de rede, pelo facto da amostra não caber no mesmo. [31]

Esta metodologia de ensaio implica a pesagem de um conjunto formado por geotêxtil e amostra. Este conjunto é colocado num tabuleiro com água (Figura 22), de modo a que a tela não desça mais do que 2 mm abaixo do nível da água, e é efectuada a sua pesagem ao longo do tempo.



Figura 22 – Tabuleiros com amostras imersas em água para o ensaio de absorção de água por capilaridade

Após determinação da absorção de água, foi igualmente medida a secagem do conjunto, até este ter atingido peso constante. [31]

5.1.4 Permeabilidade ao vapor de água

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água foi efectuado segundo a norma EN 1015 – 19 [47], embora com algumas alterações.

Algumas das amostras continham azulejo que não podia ser cortado, pois seria posteriormente restaurado para a edificação onde se efectuou a recolha. Sendo assim, nas amostras que continham azulejo e argamassa, a argamassa foi moldada de modo a entrar no recipiente.



Figura 23 – Moldagem da amostra ao recipiente usado.

Após a moldagem, as amostras foram colocadas em recipientes com espaçamento de $10\text{mm} \pm 5\text{mm}$ de camada de ar, sobre água¹. O isolante usado foi pez louro (50%) conjuntamente com cera de abelha (50%). Os recipientes foram colocados numa câmara a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ de temperatura e a

¹ Em vez de água, deveria ter sido usada uma solução de fosfato de amónio di-hidrogenado.

50% ± 5% de humidade relativa e pesados a intervalos regulares durante 15 dias úteis. A permeabilidade ao vapor de água é dada pelo valor médio da permeância multiplicado pela espessura do provete. A permeância é determinada pela seguinte fórmula:

$$\Lambda = \frac{1}{A\Delta_p / (\Delta G / \Delta t) - R_A} \text{ (kg / m}^2 \cdot \text{s.Pa)}$$

em que:

A - área é a área da zona aberta do recipiente em m²

Δp – diferença de pressão em vapor de água entre o ambiente e a solução salina em Pa

$\Delta G / \Delta t$ - fluxo de vapor em kg/s

R_A – resistência ao vapor de água da camada de ar entre a solução salina e o provete (0,048x109 Pa.m².s/kg por cada 10mm de camada de ar)

Λ - permeância em kg/m².s.Pa

A espessura de ar de difusão equivalente é determinada pela seguinte fórmula:

$$S_D = (195/\Lambda) - 0,01$$

5.2 Argamassas Desenvolvidas

Na formulação de novas argamassas, iniciou-se o estudo com ensaios às matérias-primas, seguidamente procedeu-se à preparação e execução dos provetes prismáticos e, por fim, determinou-se o espalhamento e a massa volúmica das argamassas desenvolvidas.

Com o intuito de descobrir se as novas formulações de argamassas têm um bom comportamento face à água realizou-se o ensaio de absorção de água por capilaridade aos 28 e 90 dias.

5.2.1 Ensaios relativos às matérias-primas

As matérias-primas usadas nas novas argamassas desenvolvidas foram a cal aérea, a areia de rio, o saibro (areia de Ovar) e o metacaulino. As mesmas foram sujeitas a um ensaio que visava a determinação das massas volúmicas aparentes. Os dois agregados (areia de rio e saibro) foram ainda sujeitos a um ensaio de granulometria.

5.2.1.1 Massa volúmica aparente

O ensaio para a determinação da massa volúmica aparente foi efectuado segundo a norma Cahier 2669-4 CSTB. [50]

Numa primeira instância pesou-se a massa do recipiente (g) e mediu-se o respectivo volume. No seguimento, encheu-se o cone com a matéria-prima, abriu-se a patilha de saída e este caindo para dentro do recipiente metálico (Figura 24). Pesou-se a massa do recipiente juntamente com a da matéria-prima e determinou-se a massa volúmica aparente.

Este procedimento repete-se três vezes, de modo a obter um valor médio da massa volúmica aparente.



Figura 24 – Determinação da massa volúmica aparente.

5.2.1.2 Análise granulométrica

A areia de rio e o saibro foram sujeitos a ensaios granulométricos, com o objectivo de determinar a distribuição granulométrica de cada uma das areias. Antes da execução dos ensaios, ambas as areias foram colocadas na estufa a 65°C, até à sua secagem. Para este ensaio foi utilizada a série de peneiros ASTM.

5.2.2 Determinação da consistência por espalhamento

Este ensaio de consistência por espalhamento das diferentes argamassas foi efectuado segundo a norma EN 1015-3:1998 [48].

Começa-se por dar 10 pancadas na mesa de espalhamento para esta ficar normalizada. Coloca-se o cone com o “anel” no centro da mesa, coloca-se argamassa até meio do mesmo e deixa-se cair 10 vezes o pilão². Preenche-se completamente o cone e deixa-se cair, novamente, o pilão 10 vezes. Seguidamente, remove-se o “anel” e retira-se o excesso de argamassa do centro para fora, com o auxílio de uma colher de pedreiro, de modo a alisar a face superior do cone.

No seguimento, retira-se o cone e dá-se 15 pancadas em 15 segundos com o manípulo que a mesa de espalhamento possui. Por fim, mede-se com o paquímetro dois diâmetros perpendiculares entre si (Figura 25).



Figura 25 – Procedimento do ensaio de consistência por espalhamento.

5.2.3 Determinação da massa volúmica

Este ensaio para a determinação das massas volúmicas das diferentes argamassas foi efectuado segundo a norma EN 1015-6:1998 [49], embora com algumas alterações.

Começou-se por determinar a massa do recipiente metálico onde será colocada a argamassa. Seguidamente, enche-se o recipiente com argamassa até meia altura e deixa-se cair o molde 10

² Varão de compactação

vezes. Posteriormente, preenche-se o recipiente com a argamassa e volta-se a repetir o processo das 10 pancadas. Retira-se o excesso de argamassa do centro para fora, com o auxílio de uma colher de pedreiro, de modo a alisar a face superior do recipiente e pesa-se o recipiente com a argamassa. Para determinar a massa volúmica da argamassa subtrai-se à massa total a massa do recipiente.

5.2.4 Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade

O ensaio de capilaridade é efectuado em provetes prismáticos com as dimensões 40mm x 40mm x 160mm, segundo Cahier 2669-4 CSTB [50].

Numa tina preenchida com água até uma altura de 5mm, colocam-se os provetes com a sua maior dimensão em posição vertical, sendo medido o seu aumento de peso ao longo do tempo. O resultado de ensaio traduz-se numa curva regulada pelas expressões de \sqrt{t} nas abcissas e $100 \times M/S$ nas ordenadas, em que: t – tempo; M – massa e S – secção.

O coeficiente de capilaridade (C), que corresponde ao declive da recta entre os pontos $\sqrt{10}$ min e $\sqrt{90}$ min é dado pelo seguinte expressão:

$$C = \frac{(M/S)_{90} - (M/S)_{10}}{\sqrt{90} - \sqrt{10}}$$

Este coeficiente é actualmente expresso em $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$, seguindo a norma EN 1015-18 [51]. Para cada ensaio, a efectuar aos 28 dias e 90 dias, foram utilizados três provetes prismáticos. [31]

5.3 Aplicações

5.3.1 Tubos de Karsten

Este ensaio de absorção de água sob baixa pressão, que tem como objectivo a determinação da permeabilidade à água dos revestimentos tradicionais de paramentos exteriores, foi efectuado segundo a Fe Pa 39 [52].

Para a realização deste ensaio em superfícies verticais, usou-se uma peça em forma de cachimbo (Figura 26), que consiste num tubo graduado de 0 a 4 cm^3 com uma parte inferior em formato cilíndrico cujo fundo é fechado.

Numa primeira instância, encosta-se a secção do tubo ao revestimento da fachada, cobre-se o bordo do tubo com um tipo de plasticina própria ou com silicone³. Fixam-se todos os tubos às

³ Este tem que ficar bem vedado para não deixar passar água.

zonas de parede a serem ensaiadas através do mesmo processo. Seguidamente, enchem-se os tubos com água até à graduação 0 cm³ e esperam-se 5 minutos para efectuar a primeira leitura em cada um dos (três) tubos, com base no abaixamento do nível de água observado nos tubos. As leituras repetem-se aos 10, 15, 30 e 60 minutos seguintes.

Figura 26 – Tubo de Karsten



5.4 Ensaio de análise aos sais

Este ensaio de análise aos sais foi efectuado com o objectivo de determinar a presença de sais nas argamassas devido à grande variabilidade de resultados obtidos no ensaio de permeabilidade ao vapor de água.

A realização deste ensaio é muito simples. Encosta-se uma tira de sulfatos, cloretos ou nitratos/nitritos a determinada argamassas e encharca-se a tira de sais com água. Seguidamente compara-se a cor da tira com os resultados que se encontram no recipiente de determinado sal.



Figura 27 – Ensaio de análise de sais

6 Caracterização das argamassas antigas

Foi efectuada a caracterização das argamassas antigas provenientes dos edifícios que foram alvo de intervenção, de modo a tentar compreender o seu estado de conservação e os fenómenos de afectação da fachada.

6.1 Recolha de amostras

Com o objectivo de se enriquecer o conhecimento sobre argamassas antigas, recorreu-se à recolha de argamassas existentes em diversas fachadas da cidade de Ovar para posteriormente serem sujeitas a diversos ensaios e respectiva análise.

As habitações que são alvo de intervenção são datadas do século XIX [15]. Para se obter um amplo estudo de argamassas antigas, estas foram recolhidas de vários edifícios de fachadas azulejadas (Figura 28).



Figura 28 – Edifício situado na Rua Camilo Castelo Branco

A técnica de recolha de amostras nos vários edifícios foi efectuada de acordo com diversos factores, como, por exemplo, a humidade, os fenómenos de capilaridade e a pluviosidade. Sendo assim, foram escolhidas amostras com diferentes estados de conservação e em locais críticos (telhados, solos, vãos), de forma a verificar a variação de propriedades induzida pela localização, tendo em conta a acção da água. As amostras recolhidas foram de vários tipos: conjunto de argamassa com azulejo, argamassa e azulejo.

6.2 Análise de amostras

6.2.1 Identificação das amostras ensaiadas

A Tabela 5 sintetiza a quantificação das amostras ensaiadas em cada um dos edifícios.

Tabela 5 – Amostras ensaiadas em cada edifício

Edifício	DRX	ATG	Absorção de água por capilaridade	Permeabilidade ao vapor de água
<i>Museu de Ovar (MO)</i>	6	1	2	6
<i>Rua Elias Garcia (EG)</i>	4	2	0	0
<i>Rua Camilo Castelo Branco (CCB)</i>	15	2	0	7
<i>Rua Dr. António Sobreira (DAS)</i>	4	2	0	4
<i>Rua Dr. José Falcão (JF)</i>	0	0	0	3

6.2.2 Resultados

Em seguida, apresentam-se os resultados dos diversos ensaios de difracção de raios X (DRX), análise térmica, absorção de água por capilaridade, permeabilidade ao vapor de água e análise de sais efectuados às argamassas antigas, descritos no ponto 5.1.

6.2.2.1 Difracção de Raios X (DRX)

Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos no ensaio de difracção de raios X (DRX), figurando os minerais detectados nas diversas argamassas ensaiadas, tendo em conta os dois tipos de amostra ensaiados (total e fracção fina). De notar que os diminutivos, Adj., Par. e P referem-se às argamassas adjacentes, paramento e fracção fina (fracção passada), respectivamente.

Tabela 6 – Resultados do ensaio de difracção de raios X

Edifício	Amostras	Quartzo	Calcite	Portlandite	Mica/Ilite	Caulinite	Feldspatos	Anidrite	Halite
CCB	Amst. 1 (Par.)	++++	++		Vstg	Vstg			Vstg
	Amst. 2 (Adj.)	++++	+++		Vstg		+		
	Amst. 3 (Adj_P)	+++	++++		+	+			+
	Amst. 4 (Par.)	++++	+++		+	+	Vstg		Vstg
	Amst. 5 (Par_P)	++++	+++		+	+	+		Vstg
	Amst. 6 (Adj.)	++++	+++		+	+	Vstg		Vstg
	Amst. 7 (Adj_P)	++++	+++		+	+			Vstg
	Amst. 8 (Adj.)	++++	+++				+		Vstg
	Amst. 9 (Adj_P)	+++	++++				++		
	Amst. 10 (Par.)	++++	++		+		++		Vstg
	Amst. 11 (Par_P)	++++	+++		+	+	Vstg		Vstg
	Amst. 12	++++	+++		+		+		Vstg
	Amst. 13 (P)	+++	++++		+	+	+		+
	Amst. 14	++++	++++				Vstg	++	Vstg
	Amst. 15 (P)	++	++++			Vstg		++	++
DAS	Amst. 1	++++	+++		+	+	+		Vstg
	Amst. 2 (P)	+++	++++		+	+	+		Vstg
	Amst. 3 (Adj_P)	++++	+++		+	+			Vstg
	Amst. 4 (P)	+++	++++		+	+	Vstg		Vstg
EG	Amst. 1 (Amarelo)	++++	+++		Vstg	Vstg	+		Vstg
	Amst. 2 (Amarelo_P)	+++	++++	+	+	+		+	+
	Amst. 3 (Rosa)	++++	+++		+	+	+		+
	Amst. 4 (Rosa_P)	+++	++++		+	+	+		+
MO	Amst. 1	++++	+++		Vstg		+++		
	Amst. 2 (P)	+++	++++				+		+
	Amst. 3	+++	++++		+		+		+
	Amst. 4 (P)	+	++++				+		+
	Amst. 5 (Par_P)	++++	++++				+		+
	Amst. 6 (P)	+	++++						

++++ Muito Abundante
 + Presente
 Vstg Vestígios

Pela análise da Tabela 6 constata-se que as argamassas antigas são constituídas por cal aérea (calcite), areia siliciosa devido à presença do quartzo em abundância e alguns elementos argilosos (Mica/Ilite e Caulinite).

Apenas uma das argamassas, EG Amst.2 (P), tem vestígios de portlandite tratando-se de um indício de falta de carbonatação, o que significa que a cal aérea não carbonatou completamente. Como as outras amostras de argamassa não possuem portlandite pode-se constatar que carbonataram completamente, ainda que por baixo de um sistema azulejar. Como em muitas casas existia uma lacuna de azulejos, este facto pode ter influenciado positivamente o processo de carbonatação.

Pode-se verificar ainda que praticamente todas as amostras têm vestígios de halite (NaCl) indicando a presença de sais provenientes do mar (que se localiza a cerca de 5 km de Ovar) ou do rio Cáster que passa no centro da cidade. Verificou-se a presença de anidrite (CaSO₄) apenas numa

das amostras (EG Amst. 2 (P)); a presença de anidrite nesta habitação é um indício de poluição proveniente dos escapes dos carros, o que se constata, pois é a habitação que se localiza numa zona muito movimentada no centro de Ovar.

6.2.2.2 Análise Térmica

Seguidamente apresentam-se os gráficos relativos à análise termogravimétrica (ATG) de argamassas de diversas fachadas.

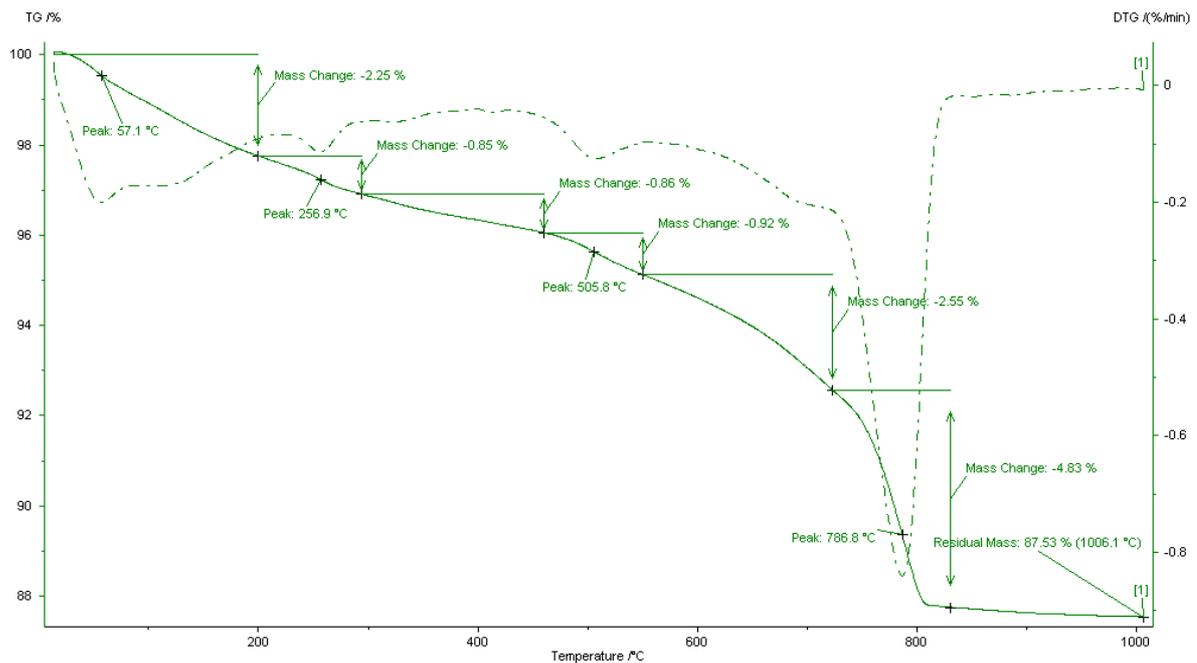


Figura 29 – ATG EG Amst. 1 (Amarelo)

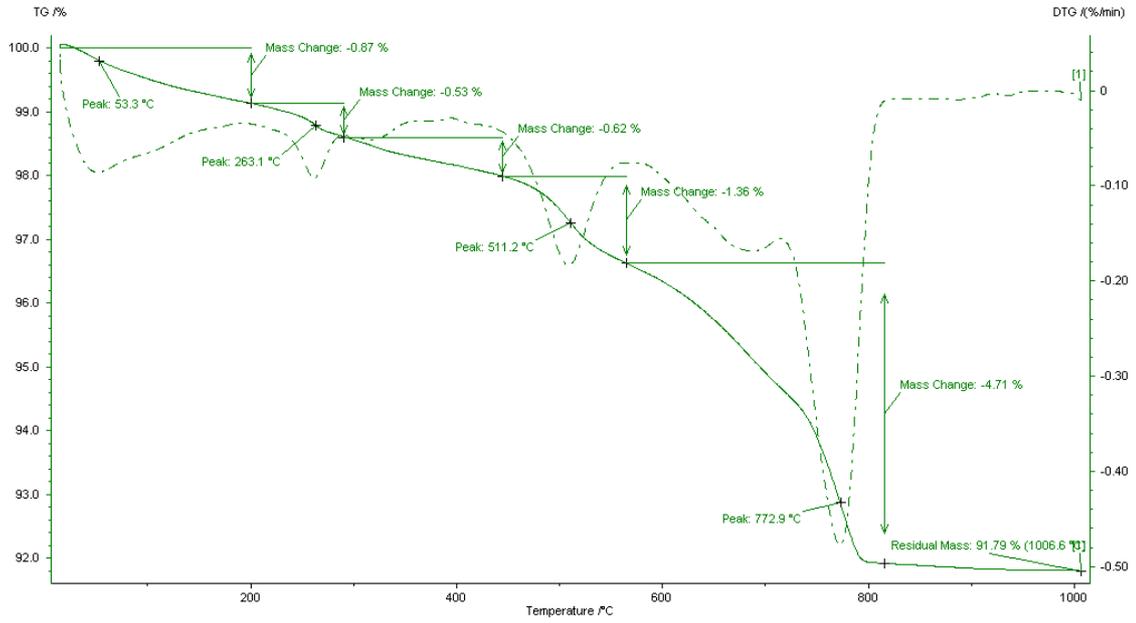


Figura 30 – ATG CCB Amst.1 (Par.)

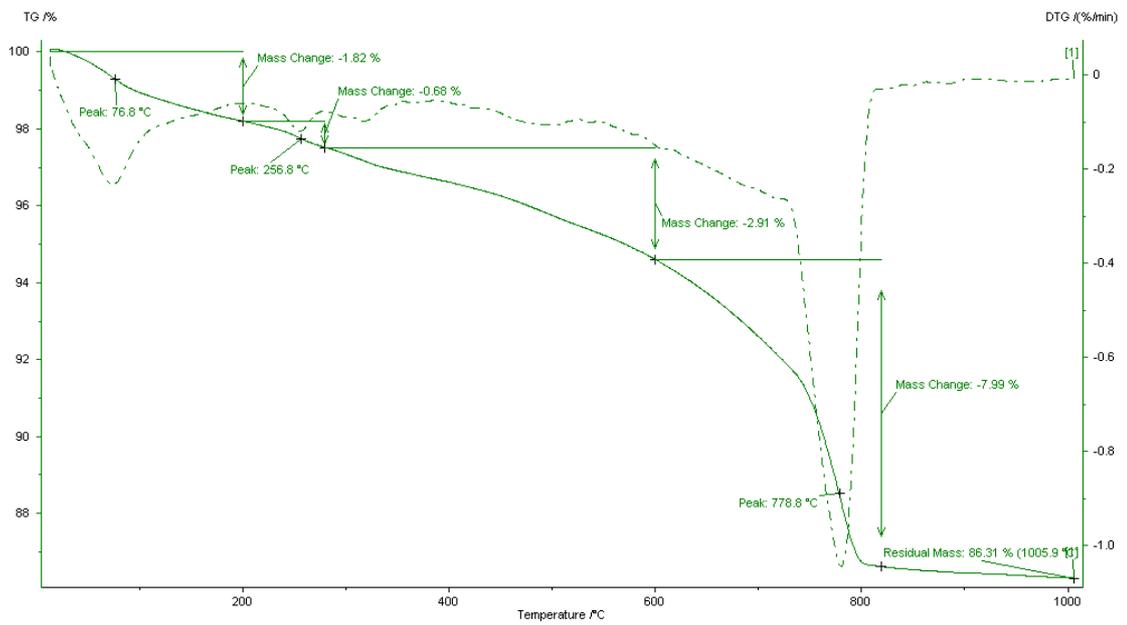


Figura 31 – ATG MO Amst. 1

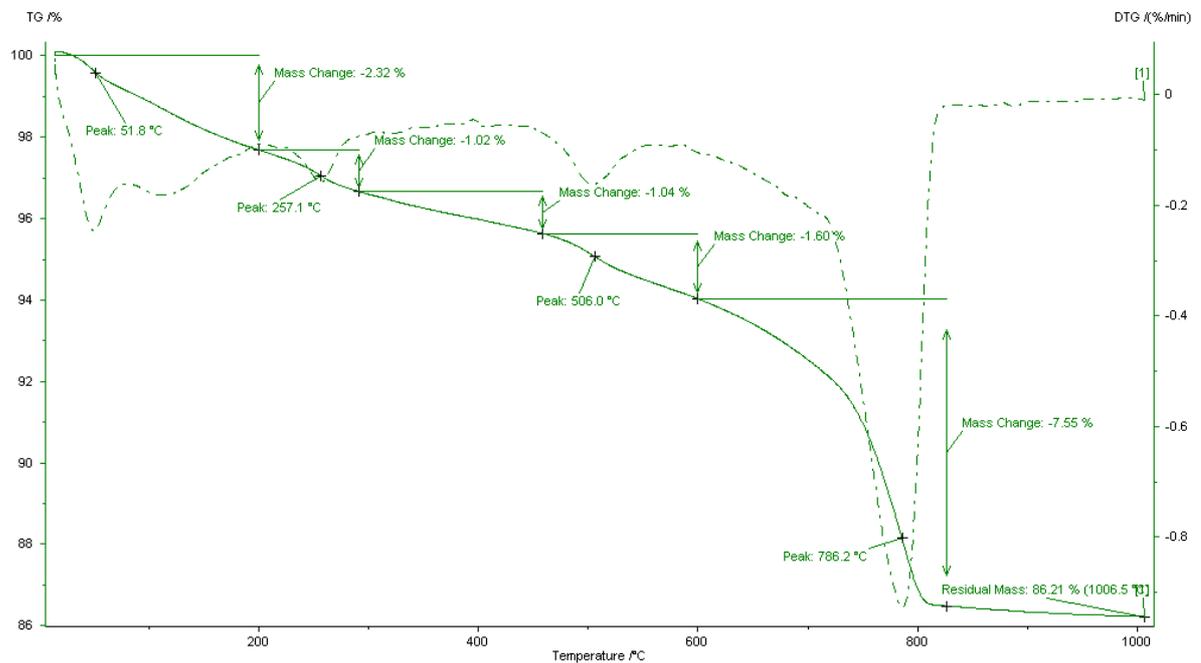


Figura 32 – ATG DAS Amst.1

Pela análise das figuras anteriores constata-se que inicialmente há saída de água que é adsorvida, que corresponde ao primeiro pico. Seguidamente, ocorre a desidroxilação das fases argilosas e das fases hidratadas a partir de cerca dos 200°C. O pico dos 500°C evidencia a desidroxilação dos minerais argilosos como, por exemplo, a ilite e a caulinite. A partir dos 600°C observa-se a descarbonatação dos carbonatos com saída de CO₂.

Pela análise dos gráficos confirma-se a presença de calcite, o que está de acordo com a análise de raio X. Para além destes verifica-se ainda a presença de caulinite e/ou ilite.

Tabela 7 – Resultados obtidos da quantidade de calcite da análise termogravimétrica

Amostra	% CO2	% CaCO3
<i>EG Amst. 1 (Amarelo)</i>	7,38	16,78
<i>MO Amst. 1</i>	7,99	18,17
<i>DAS Amst. 1</i>	7,55	17,17
<i>CCB Amst. 1 (Par.)</i>	4,71	10,71

6.2.2.3 Absorção de água por capilaridade

Conforme descrito no ponto 5.1.3, a determinação da absorção de água por capilaridade foi efectuada segundo uma alteração ao procedimento.

A realização deste ensaio não foi executada como previamente foi previsto, devido ao pequeno leque de escolha relativamente ao conjunto azulejo com argamassa e apenas argamassa. Sendo assim, este ensaio foi efectuado apenas com azulejos antigos (Tabela 8). O ensaio foi efectuado simulando a absorção de água a partir da superfície interior do azulejo (tardoz).

Tabela 8 – Caracterização das amostras

	Amostra	Dimensões (cm ²)
1	MO_Z3_A9	13,3 x 13,3
3	CCB_Z3_A3	14,0 x 14,0

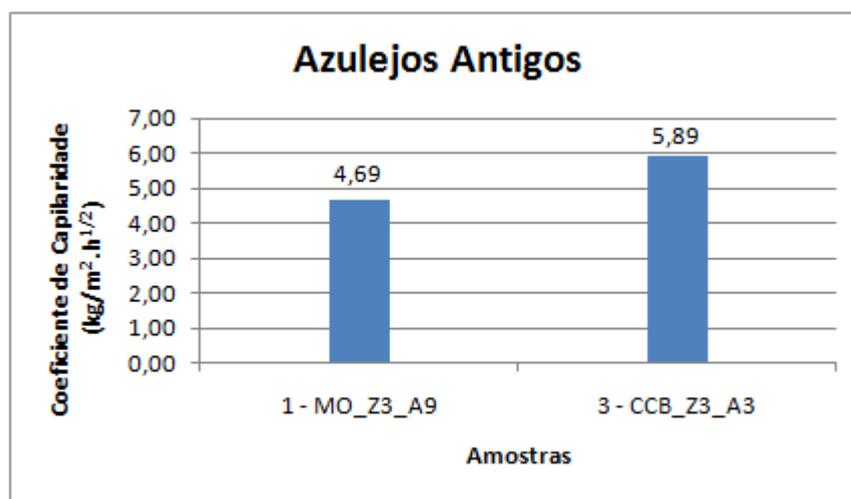


Figura 33 – Coeficiente de capilaridade de azulejos antigos

Da análise da Figura 33 constata-se que o coeficiente de capilaridade dos azulejos antigos é bastante similar, apesar do coeficiente de capilaridade da habitação da Rua Camilo Castelo Branco (CCB) ser um pouco superior.

6.2.2.4 Permeabilidade ao vapor de água dos azulejos, argamassas e conjuntos azulejo com argamassa antigos

A determinação da permeabilidade ao vapor de água foi efectuada segundo o procedimento de ensaio descrito em 5.1.4, tendo sido ensaiados vários provetes de diversos edifícios. Estes provetes podiam ser de diferentes tipos: apenas azulejo, apenas argamassa e conjunto azulejo com argamassa.

É importante referir que alguns resultados relativos à permeabilidade ao vapor de água de determinadas amostras não foram considerados, devido à grande variabilidade de resultados, provavelmente induzida pela presença de sais.

As diferentes amostras estão identificadas da seguinte maneira: Habitação_Zona_Amostra.

6.2.2.4.1 Rua Dr. José Falcão (JF)

Tabela 9 – Amostras referentes à Rua Dr. José Falcão (JF)

Amostra	JF_Z1_A3	JF_Z2_A3	JF_Z2_A6
Frente			
Tardoz			

Tabela 10 – Designação de amostras referentes à Rua Dr. José Falcão (JF)

Provetes	Tipo	Zona	Pasta
JF_Z1_A3	Azulejo + Argamassa	Z1	Amarelada
JF_Z2_A3	Azulejo	Z2	Amarelada
JF_Z2_A6	Azulejo + Argamassa	Z2	Amarelada

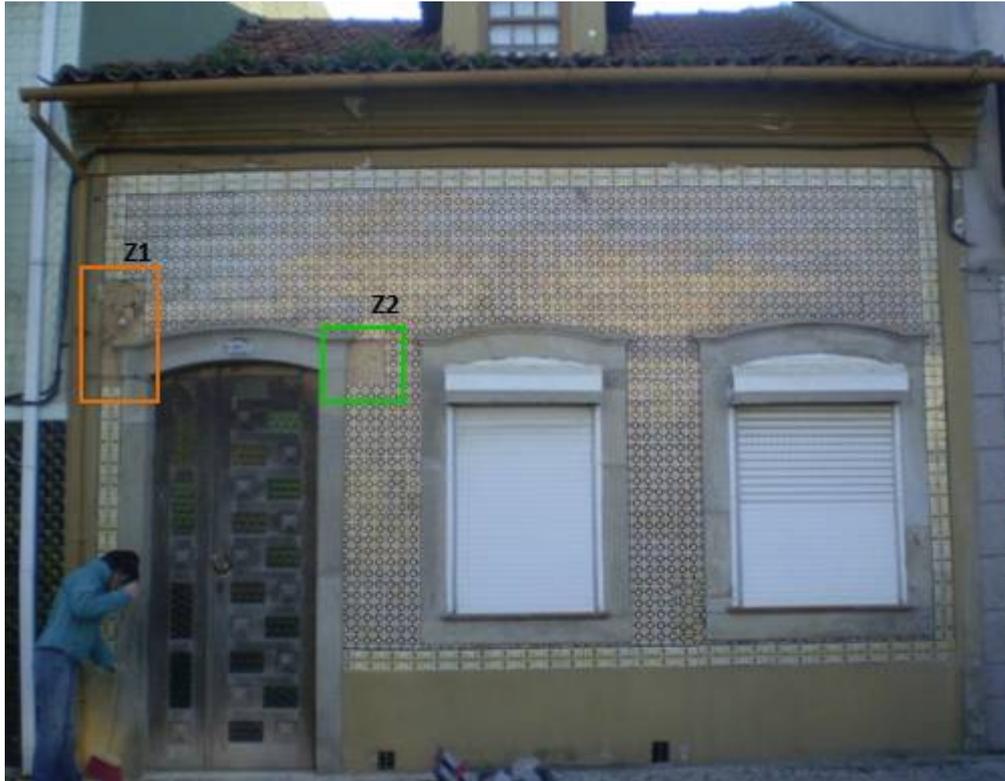


Figura 34 – Localização das zonas após levantamento de amostras

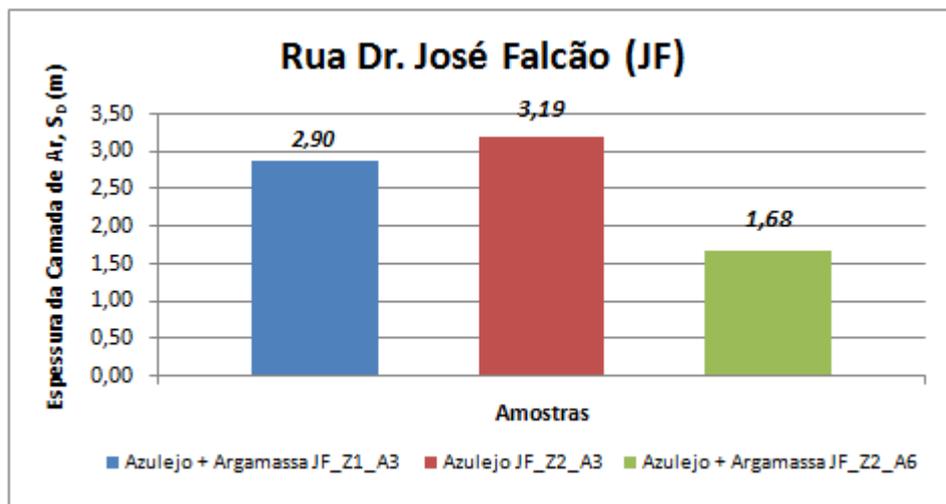


Figura 35 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente

Através da análise das Tabela 9, Tabela 10 e Figura 34 pode-se identificar as várias amostras referentes à mesma edificação.

Na Figura 35 registam-se os valores da espessura de camada de ar de difusão equivalente, de forma a avaliar a permeabilidade ao vapor de água das diferentes amostras no mesmo edifício. Pela sua análise verifica-se que a amostra mais impermeável é a JF_Z2_A3, que corresponde a um

azulejo. As amostras JF_Z1_A3 e JF_Z2_A6 são conjuntos de azulejo com argamassas, de diferentes zonas, que apresentam espessuras de camada de ar diferentes. De notar que a amostra JF_Z1_A3 apresentava uma espessura 2 mm superior à espessura da amostra JF_Z2_A6. Apesar de ser um pouco mais espessa, não se justifica a diferença de valores. Tudo indica que, o facto de as amostras serem de diferentes zonas, teve influência nesta variação de valores. A amostra mais permeável é a JF_Z2_A6, pois tem a espessura de camada de ar de difusão equivalente mais reduzida.

6.2.2.4.2 Rua Dr. António Sobreira (DAS)

Tabela 11 - Amostras referentes à Rua Dr. António Sobreira (DAS)

Amostra	DAS_Z1_A4	DAS_Z1_A4 (Arg)	DAS_Z1_A6	DAS_Z2_A4
Frente				
Tardoz				

Tabela 12 - Designação de amostras referentes à Rua Dr. António Sobreira (DAS)

Provetes	Tipo	Zona	Pasta
DAS_Z1_A4	Azulejo	Z1	Amarelada
DAS_Z1_A4	Argamassa	Z1	Amarelada
DAS_Z1_A6	Argamassa	Z1	Amarelada
DAS_Z2_A4	Azulejo + Argamassa	Z2	Amarelada



Figura 36 - Localização das zonas após levantamento de amostras

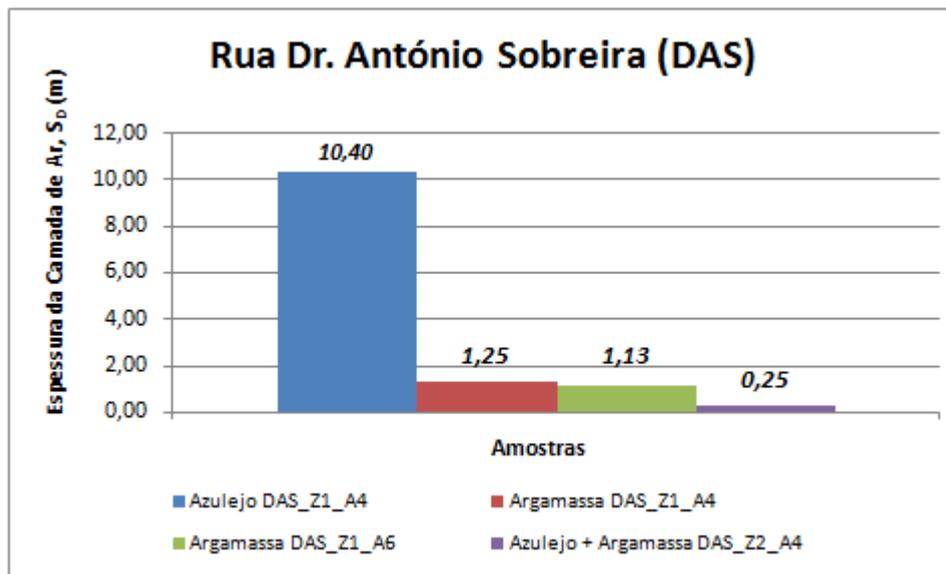


Figura 37 - Espessura da camada de ar de difusão equivalente

Através da análise das Tabela 11, Tabela 12 e Figura 36 pode-se identificar as várias amostras referentes à mesma habitação.

De acordo com a Figura 37, o valor mais elevado da espessura de camada de ar de difusão equivalente é do azulejo DAS_Z1_A4, sendo este o menos permeável. Relativamente à amostra do conjunto de azulejo com argamassa DAS_Z2_A4 constata-se que é a mais permeável desta edificação, apresentando uma espessura de camada de ar inferior em relação a todas as outras amostras. Através desta amostra pode-se verificar como a degradação do vitrado influencia a permeabilidade da amostra (Tabela 11). As duas argamassas DAS_Z1_A4 e DAS_Z1_A6 apresentam uma permeabilidade muito semelhante e baixa, sendo as mesmas muito permeáveis.

6.2.2.4.3 Rua Camilo Castelo Branco (CCB)

Tabela 13 - Amostras referentes à Rua Camilo Castelo Branco (CCB)

Amostra	CCB_Z1_A5	CCB_Z2_A3	CCB_Z3_A1	CCB_Z3_A2
Frente				
Tardoz				

Tabela 14 – Amostras referentes à Rua Camilo Castelo Branco (CCB)

Amostra	CCB_Z3_A4	CCB_Z3_A8	CCB_Z5_A1
Frente			
Tardoz			

Tabela 15 - Designação de amostras referentes à Rua Camilo Castelo Branco (CCB)

Provetes	Tipo	Zona	Pasta
CCB_Z1_A5	Argamassa	Z1	Amarelada
CCB_Z2_A3	Azulejo	Z2	Amarelada
CCB_Z3_A1	Azulejo	Z3	Amarelada
CCB_Z3_A2	Azulejo + Argamassa (2 camadas)	Z3	Amarelada
CCB_Z3_A4	Azulejo + Argamassa (2 camadas)	Z3	Amarelada
CCB_Z3_A8	Argamassa	Z3	Amarelada
CCB_Z5_A1	Azulejo + Argamassa	Z5	Amarelada



Figura 38 - Localização das zonas após levantamento de amostras

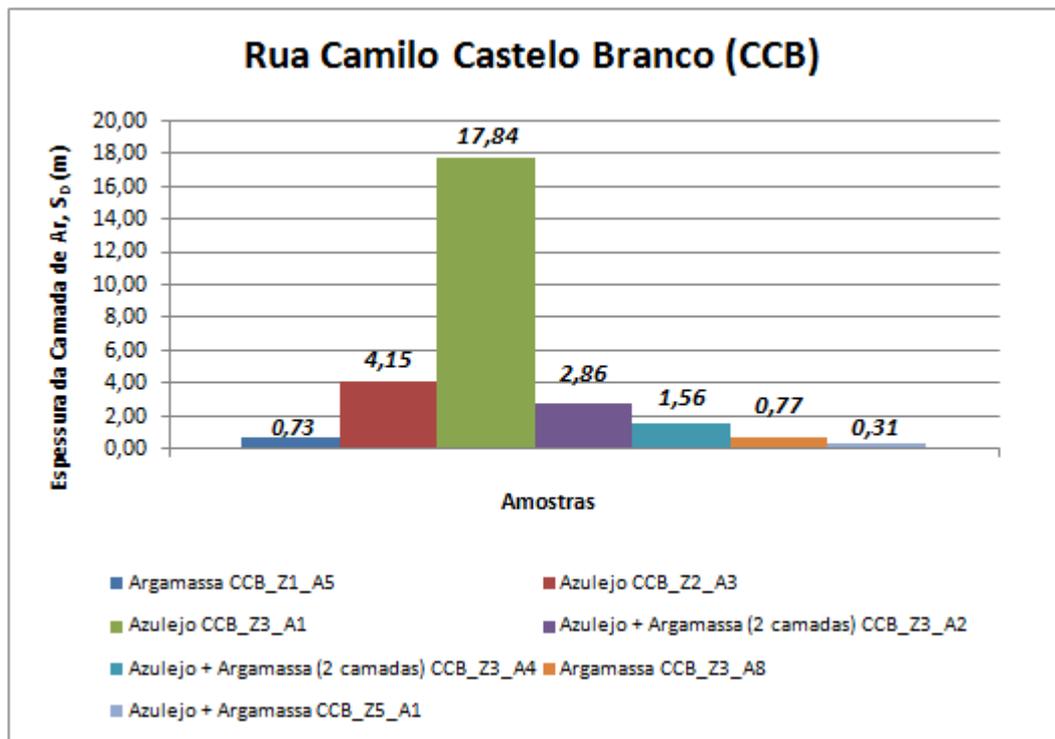


Figura 39 - Espessura da camada de ar de difusão equivalente

Da análise da Figura 39 verifica-se que a espessura da camada de ar das amostras de argamassas são similares, no entanto as amostras de azulejo apresentam uma grande diferença de valores de espessura de camada de ar. Esta variabilidade poderá ser devido à zona onde o azulejo se encontrava e ao conseqüente estado de conservação, nomeadamente no que se refere ao vidrado. A amostra de azulejo CCB_Z3_A1 que apresenta o valor mais baixo de permeabilidade. Embora a amostra CCB_Z2_A3 (Figura 40) ser referente também a um azulejo, esta já apresenta uma permeabilidade muito superior à amostra supracitada, mas, mesmo assim, é inferior a todas as outras amostras que contêm argamassa. Esta amostra também se encontra numa zona de destacamento como se pode verificar através da Figura 40. Este facto, explica a maior permeabilidade da amostra da zona Z3 face à da zona Z2.



Figura 40 – Zona 2 (esquerda) e zona 3 (direita) da edificação em epígrafe

Relativamente a amostras de conjunto de azulejo com argamassa (2 camadas), as amostras CCB_Z3_A2 e CCB_Z3_A4 apresentam uma espessura de camada de ar de difusão equivalente similar. Comparando as mesmas com a amostra CCB_Z5_A1 de um conjunto de azulejo com argamassa, mas com uma única camada, estas apresentam um valor da espessura de camada de ar equivalente mais elevado, logo menor permeabilidade. De notar que, para além de esta amostra conter apenas uma camada de argamassa, a degradação era tal que já não tinha vidrado. Durante a recolha desta amostra verificou-se que a zona (Z5) onde esta argamassa se localizava estava molhada.

A amostra CCB_Z5_A1 de um conjunto de azulejo com argamassa apresenta uma espessura de camada de ar de difusão equivalente muito baixa, constatando-se assim que é o mais permeável, o que é explicável pela inexistência de vidro neste azulejo.

6.2.2.4.4 Museu de Ovar (MO)

Tabela 16 - Amostras referentes ao Museu de Ovar (MO)

Amostra	MO_Z1	MO_Z1_A1	MO_Z1_A5
Frente			
Tardoz			

Tabela 17 – Amostras referentes ao Museu de Ovar (MO)

Amostra	MO_Z2	MO_Z2_A1	MO_Z3_A2
Frente			
Tardoz			

Tabela 18 - Designação de amostras referentes ao Museu de Ovar (MO)

Provetes	Tipo	Zona	Pasta
MO_Z1	Argamassa	Z1	Amarelo-claro
MO_Z1_A1	Azulejo	Z1	Amarelo-claro
MO_Z1_A5	Azulejo + Argamassa	Z1	Amarelo-claro
MO_Z2	Argamassa	Z2	Amarelo-claro
MO_Z2_A1	Azulejo + Argamassa (a)	Z2	Amarelo-claro
MO_Z3_A2	Azulejo + Argamassa (b)	Z3	Amarelo-claro



Figura 41 - Localização das zonas após levantamento de amostras



Figura 42 – Localização das zonas após levantamento de amostras

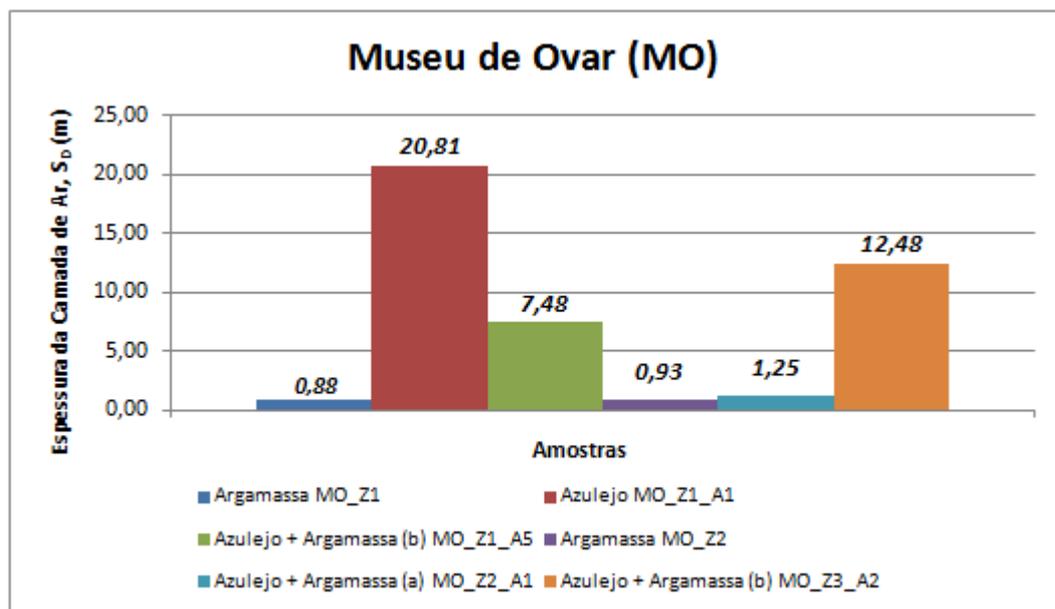


Figura 43 - Espessura da camada de ar de difusão equivalente

Através da análise da Figura 43 constata-se que as argamassas MO_Z1 e MO_Z2 são as amostras mais permeáveis, pois apresentam valores de espessura de camada de ar de difusão equivalente inferiores às outras amostras. Pode-se verificar ainda que o azulejo MO_Z1_A1 é a amostra mais impermeável.

Os conjuntos azulejo com argamassa apresentam valores muito díspares, o que pode ser explicado pela zona onde cada uma das amostras se encontra e pelo tipo de argamassa, pois, durante a recolha, constatou-se que a argamassa da amostra MO_Z2_A1 é diferente das outras amostras conjunto azulejo com argamassa, pelo facto da coloração da amostra da zona Z2 ser mais escura e apresentar uma textura diferente.

Observando os resultados obtidos para os conjuntos azulejo com argamassa (b) em paralelo com o conjunto azulejo com argamassa (a) pode-se verificar que os primeiros apresentam valores de espessura de camada de ar mais alto, logo são menos permeáveis. Contudo, a amostra MO_Z1_A5 apresenta uma espessura de camada de ar inferior à amostra MO_Z3_A2. Portanto, a amostra MO_Z3_A2 é a amostra menos permeável do conjunto azulejo mais argamassa.

6.2.2.4.5 Permeância ao vapor de água do Azulejo

Tabela 19 – Permeância ao vapor de água do azulejo nos diversos edifícios.

Amostra	Rua	Zona	Tardoz (Pasta)	Permeância (ng/m ² .s.Pa)
JF_Z2_A3	Dr. José Falcão	Z2	Amarelada	60,87
DAS_Z1_A4	Dr. António Sobreira	Z1	Amarelada	18,73
CCB_Z2_A3	Camilo Castelo Branco	Z2	Amarelada	46,82
CCB_Z3_A1	Camilo Castelo Branco	Z3	Amarelada	10,92
MO_Z1_A1	Museu de Ovar	Z1	Amarelo-claro	9,36

Através da análise da Tabela 19 verifica-se que o azulejo mais permeável corresponde ao JF_Z2_A3 da Rua Dr. José Falcão e o menos permeável corresponde à amostra MO_Z1_A1.

Após a observação da tabela supramencionada constata-se que não existem valores aproximados numa mesma edificação (CCB) para amostras de azulejo, o que pode ser explicado pela degradação da zona onde estes foram recolhidos.

Os azulejos com permeabilidades mais baixas são MO_Z1_A1, CCB_Z3_A1 e DAS_Z1_A4, possivelmente por serem os azulejos menos degradados, principalmente no que diz respeito ao vidrado.

6.2.2.4.6 Permeância ao vapor de água do conjunto Azulejo com Argamassa

Tabela 20 - Permeância ao vapor de água do conjunto azulejo com argamassa nos diversos edifícios.

Amostra	Rua	Zona	Tardoz (Pasta)	Permeância (ng/m ² .s.Pa)
JF_Z1_A3	Dr. José Falcão	Z1	Amarelada	67,11
JF_Z2_A6	Dr. José Falcão	Z2	Amarelada	115,49
DAS_Z2_A4	Dr. António Sobreira	Z2	Amarelada	758,50
CCB_Z3_A2	Camilo Castelo Branco	Z3	Amarelada	67,89
CCB_Z3_A4	Camilo Castelo Branco	Z3	Amarelada	124,07
CCB_Z5_A1	Camilo Castelo Branco	Z5	Amarelada	612,18
MO_Z1_A5	Museu de Ovar	Z1	Amarelo-claro	26,04
MO_Z2_A1	Museu de Ovar	Z2	Amarelo-claro	154,51
MO_Z3_A2	Museu de Ovar	Z3	Amarelo-claro	15,61

Pela Tabela 20 verifica-se que a amostra CCB_Z5_A1, apresenta uma permeância de 612,18ng/m².s.Pa. Esta amostra localizava-se por baixo da ombreira de uma janela da edificação, em que, algumas das amostras, após recolha, se encontravam humedecidas (Figura 44) o que pôde condicionar o ensaio.



Figura 44 – Localização da zona onde foi retirado o azulejo

Outra das amostras que apresenta um valor altíssimo de permeância é a amostra DAS_Z2_A4. Este resultado pode ser devido à elevada degradação do vidro que este apresenta (Figura 45).



Figura 45 – Degradação do vidrado da amostra DAS_Z2_A4

Por sua vez, o MO_Z3_A2 é o conjunto menos permeável, apresentando 15,61 ng/m².s.Pa. Este resultado pode ser devido ao tipo de argamassa que este conjunto possuía, pois a amostra MO_Z1_A5 é composta pelo mesmo tipo de argamassa e apresenta uma permeância similar à amostra referida.

As baixas permeabilidades são, provavelmente, mais condicionadas pelos azulejos. Estas também podem ser devidas à boa aderência da argamassa ao azulejo, pois, se houver descolamento, provavelmente o vapor de água consegue passar pela interface, não chegando, talvez, a atravessar o azulejo.

6.2.2.4.7 Permeabilidade ao vapor de água da Argamassa

Tabela 21 - Permeabilidade ao vapor de água de argamassa nos diversos edifícios.

Amostra	Rua	Zona	Tardoz (Pasta)	Permeância (ng/m ² .s.Pa)
<i>DAS_Z1_A4</i>	Dr. António Sobreira	Z1	Amarelada	154,51
<i>DAS_Z1_A6</i>	Dr. António Sobreira	Z1	Amarelada	170,90
<i>CCB_Z1_A5</i>	Camilo Castelo Branco	Z1	Amarelada	264,54
<i>CCB_Z3_A8</i>	Camilo Castelo Branco	Z3	Amarelada	249,71
<i>MO_Z1</i>	Museu de Ovar	Z1	Amarelo-claro	218,89
<i>MO_Z2</i>	Museu de Ovar	Z2	Amarelo-claro	207,18

Pela Tabela 21 verifica-se que as amostras referentes ao edifício da Rua Dr. António Sobreira são as que apresentam uma menor permeância e as amostras do edifício da Rua Camilo Castelo Branco são as amostras mais permeáveis.

No geral, constata-se que por habitação os valores são muito semelhantes e que existe muito maior proximidade entre os valores obtidos para o conjunto das argamassas que os valores obtidos para os azulejos ou para os conjuntos argamassa-azulejo.

6.2.2.5 Análise de sais nos edifícios antigos

O ensaio das tiras de sais foi realizado devido à grande variabilidade de resultados de permeabilidade ao vapor de água de determinadas amostras. Desta forma, pretendeu-se verificar a existência de sais nas diversas edificações.

Assim sendo, a Tabela 22 apresenta os resultados obtidos neste ensaio.

De notar que este ensaio foi realizado alguns meses após a recolha das amostras.

Tabela 22 – Resultados relativos à análise de sais das argamassas antigas

Amostras	Cloretos (mg/l Cl ⁻)	Sulfatos (mg/l SO ₄ ²⁻)	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	Nitritos (mg/l NO ₂ ⁻)
MO_Z2_A1	500	< 200	50	0
MO_Z1_A5	0 - 500	< 200	0	0
MO_Z3_A2	0 - 500	< 200	0	0
JF_Z1_A3	0 - 500	200 - 400	10	0
JF_Z2_A6	0 - 500	< 200	10	0
CCB	0 - 500	< 200	25	0
DAS	500	< 200	10	0

Através da análise da Tabela 22 verifica-se que a amostra do Museu de Ovar (MO_Z2_A1) e a amostra da Rua Dr. António Sobreira são as que contém uma maior quantidade de cloretos. A amostra que apresenta uma maior quantidade de sulfatos é a amostra JF_Z1_A3 (Rua Dr. José Falcão), o que pode ser explicado por esta edificação ser paralela a uma estrada com bastante circulação de veículos poluentes. As amostras contêm pouca quantidade de nitratos.



Figura 46 – Análise de sais a amostras do Museu de Ovar (exemplo)

7 Estudo de soluções de argamassas de conservação

7.1 Caracterização das matérias-primas

7.1.1 Análise granulométrica das areias

Foi efectuada uma análise granulométrica às duas areias usadas (areia de rio e saibro) nas formulações das novas argamassas desenvolvidas.

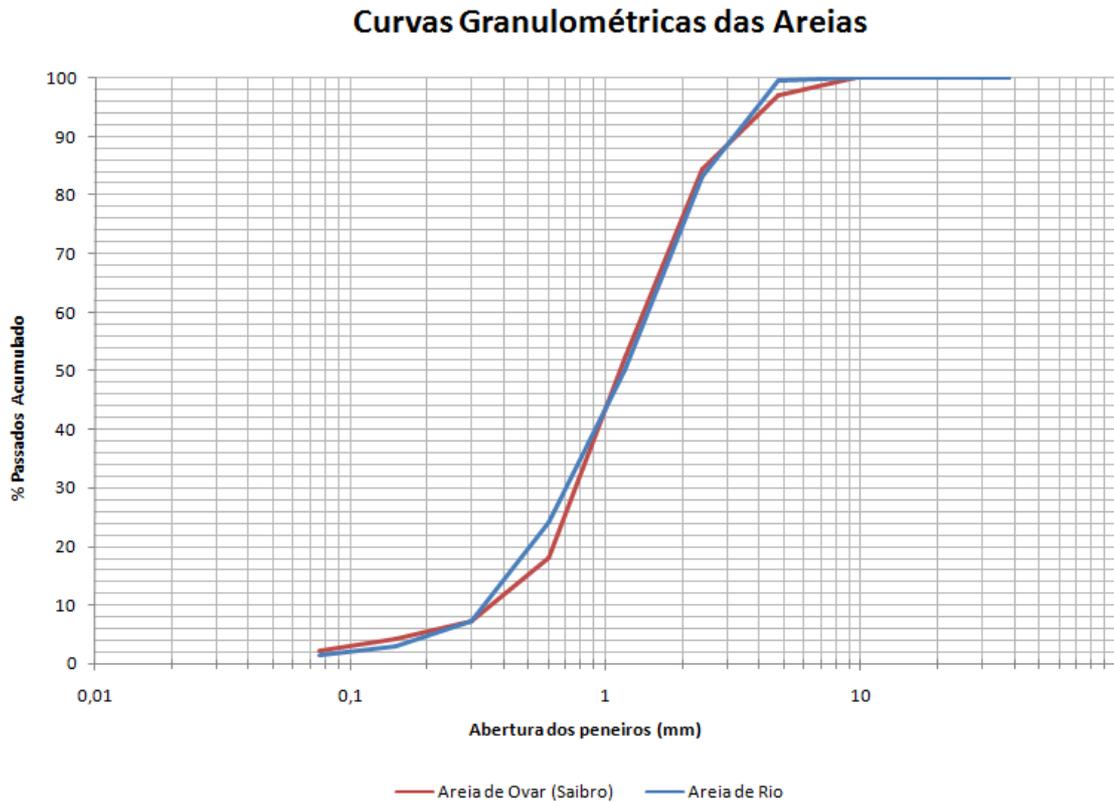


Figura 47 – Curva Granulométrica de Areia de Ovar (Saibro) e de Areia de Rio

Pela análise da Figura 47 pode-se constatar que ambas as areias têm granulometrias semelhantes, contudo a areia de rio contém uma maior percentagem de finos.

Devido à semelhança entre as duas curvas optou-se por usar, na argamassa com as duas areias, uma curva em que ambas as areias entram em igual percentagem.

Após efectuada a análise granulométrica das areias envolvidas nas novas formulações de argamassas, foi elaborada uma curva final constituída por 50% de cada uma das areias, devido à semelhança entre ambas as curvas. A obtenção desta curva final ocorreu após a combinação de variadas percentagens de ambas as areias.

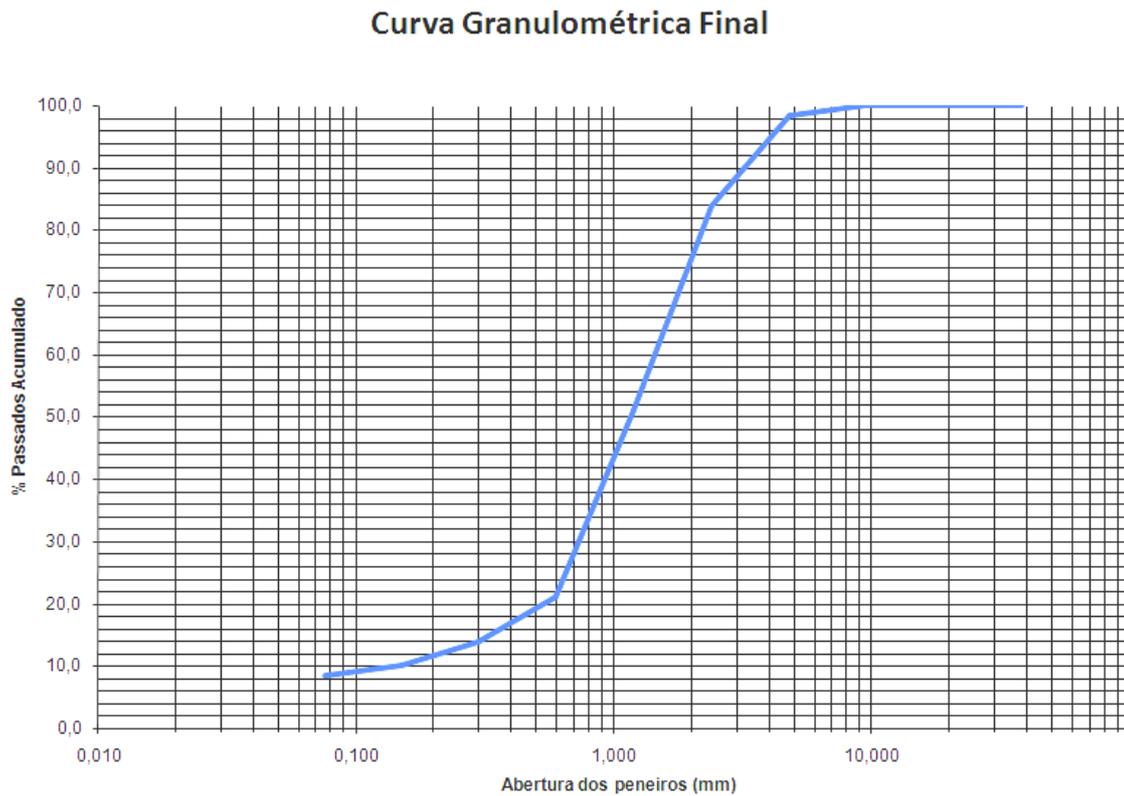


Figura 48 – Curva Granulométrica Final (50% Areia de Rio, 50% Areia de Ovar (Saibro))

7.1.2 Massa volúmica das matérias-primas

Na seguinte tabela encontram-se os valores relativos às massas volúmicas aparentes das matérias-primas, após terem sido efectuados três ensaios em cada uma das matérias-primas.

Tabela 23 – Massa volúmica aparente das matérias-primas

Matéria-prima	Massa Volúmica Aparente (g/dm³)
<i>Cal</i>	469,9
<i>Metacaulino</i>	476,1
<i>Areia de Rio</i>	1620,3
<i>Saibro</i>	1507,3

Pela análise dos resultados obtidos verifica-se que a massa volúmica dos ligantes é similar, cerca de 470 g/dm^3 e a massa volúmica dos agregados também é similar.

7.2 Desenvolvimento de argamassas

Um dos objectivos da presente dissertação é determinar um tipo de argamassa à base de cal aérea que mais se adequa às fachadas que foram alvo de intervenção. Para tal foi estudado um tipo de argamassas sem metacaulino com traço 1:3, COR – cal, areia de Ovar (saibro) e areia de rio, e três tipos de argamassas com metacaulino com traço 1:0,5:2,5, COM – cal, areia de Ovar e metacaulino, CORM – cal, areia de Ovar, areia de rio e metacaulino, e CRM – cal, areia de rio e metacaulino (Tabela 24).

Tabela 24 – Designação e traços volumétricos das argamassas estudadas

Argamassa	Traço Volumétrico			
	Cal	Metacaulino	Areias	
			Areia de Rio	Saibro
COR	1	-	1,5	1,5
COM	1	0,5	-	2,5
CORM	1	0,5	1,25	1,25
CRM	1	0,5	2,5	-

A quantidade de água nas diferentes amassaduras foi determinada experimentalmente a fim de proporcionar uma boa trabalhabilidade das argamassas desenvolvidas. A Tabela 25 apresenta a relação entre a quantidade de água e a quantidade de ligante para cada argamassa diferente.

Tabela 25 – Relação ponderal água/ligante

Argamassa	H ₂ O/Ligante
COR	1,79
COM	1,38
CORM	1,21
CRM	1,21

7.3 Caracterização das formulações das novas argamassas

7.3.1 Preparação e execução de argamassas novas

Antes de se proceder à execução das novas argamassas, as areias foram secas a 105 °C numa estufa e, posteriormente, peneiradas pelo peneiro n.º 10 (2 mm) da série ASTM. (Figura 49).



Figura 49 – Peneiração de areia de rio com peneiro n.º 10 (ASTM)

Este procedimento foi adoptado, principalmente, com o objectivo de tornar as areias mais homogéneas, pois estas continham alguns grãos de grandes dimensões.

Começou-se por pesar as diversas matérias-primas a usar numa dada argamassa numa balança METTLER PM16-N com precisão de 0,1g e com capacidade máxima de 16000g.

Após a pesagem, misturaram-se todos os constituintes da argamassa preparada antes de serem colocados na misturadora HOBART.

Seguidamente, colocou-se a cuba na misturadora mecânica, de modo a esta homogeneizar, ainda melhor, a mistura.

Mediu-se o volume de água (ml) a adicionar à mistura⁴.

Todo o processo que se desenrola na mistura da argamassa dura 3 minutos.

Durante os primeiros 15 segundos, adiciona-se a água, depois deixa-se amassar durante 2 minutos e 15 segundos (Figura 50).

⁴ Este volume de água foi obtido através de várias tentativas anteriores e baseou-se na trabalhabilidade da argamassa.



Figura 50 – Adição de água e homogeneização da mistura de argamassa

Após os 2 minutos e 30 segundos de homogeneização da mistura, retira-se a cuba e, com o auxílio de uma colher de pedreiro, mistura-se a argamassa que pode ainda conter material que não se congregou à mistura (Figura 51).



Figura 51 – Junção da argamassa não associada

Por fim, coloca-se novamente a cuba na misturadora e deixa-se homogeneizar a mistura mais 30 segundos, de modo a perfazer os 3 minutos já mencionados.

Após a execução da argamassa, esta foi sujeita ao ensaio de consistência por espalhamento (5.2.2) e determinou-se a sua massa volúmica (5.2.3).

7.3.2 Preparação dos provetes

Antes do preenchimento dos moldes prismáticos, estes foram untados com óleo descofrante. Seguidamente, começou-se por colocar argamassa até meia altura dos prismas e compactou-se a mesma com o auxílio de uma vareta, através de 25 pancadas em cada um dos prismas. Preencheu-se os prismas com argamassas e repetiu-se o mesmo processo. Após todas as pancadas, colocou-se um pouco mais de argamassa e pegou-se no molde e deu-se uma pancada em cada uma das arestas.

Por fim, procedeu-se ao alisamento dos prismas, com o auxílio de uma colher de pedreiro e de uma talocha (Figura 52).

Figura 52 – Execução dos provetes prismáticos



Seguidamente, os provetes prismáticos foram envoltos em plásticos e colocados em salas com condicionamento específico (Figura 53). Os prismas que continham metacaulino foram colocados numa sala com condicionamento $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ de temperatura e a $65\% \pm 5\%$ de humidade relativa. Os prismas que não continham metacaulino na sua composição foram colocados numa sala com condicionamento $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ de temperatura e a $50\% \pm 5\%$ de humidade relativa.

Figura 53 – Condicionamento com plástico



7.4 Análise de resultados

7.4.1 Consistência por espalhamento

Na Tabela 26 apresentam-se os valores da quantidade de água utilizada nas diferentes argamassas estudadas bem como os respectivos valores de espalhamento obtidos (média de quatro valores de espalhamento para cada argamassa).

Tabela 26 – Consistência por espalhamento das diferentes argamassas estudadas

Argamassa	Água (ml)	Espalhamento (mm)
COR	420	119,50
COM	490	133,25
CORM	430	124,00
CRM	430	124,50

Os valores de espalhamento obtidos das diversas argamassas encontram-se compreendidos no intervalo de 119,5 mm (argamassa COR) e 133,25 mm (argamassa COM).

A argamassa COM é a que apresenta um maior espalhamento, possivelmente por ter uma maior quantidade de água. Esta maior quantidade de água pode-se explicar provavelmente por esta argamassa conter metacaulino e saibro (areia de Ovar). Sendo assim, além do consumo de água devido à reacção do metacaulino com a cal, apresenta ainda uma maior percentagem de argila do que as outras argamassas, funcionando também como ligante e não só como agregado.

7.4.2 Massa volúmica

A Tabela 27 apresenta os valores médios da massa volúmica das argamassas estudadas obtida de acordo com o articulado no ponto 5.2.3. Estes valores foram determinados após dois ensaios para cada uma das argamassas.

Tabela 27 – Massa volúmica das diversas argamassas

Argamassa	Massa Volúmica (g/dm ³)
COR	2037,60
COM	1969,15
CORM	2007,10
CRM	2001,65

Pela análise da tabela anterior constata-se que a argamassa COR apresenta o maior valor de massa volúmica (2037,60 g/dm³), provavelmente por ter maior teor de areia, e a argamassa COM o menor (1969,15 g/dm³).

7.4.3 Determinação da absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade caracteriza a velocidade de absorção de água pela argamassa, através do coeficiente de capilaridade e a quantidade de água absorvida, com absorção máxima às 24h. É desejável que a absorção de água das argamassas não seja elevada, mas é igualmente importante que tenham uma rápida capacidade de secagem [31].

Tabela 28 - Absorção de água por capilaridade (kg/m^2) e coeficiente de capilaridade ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$) aos 28 dias

28 dias					
Tempo de Imersão (h)	Tempo de Imersão ($\text{h}^{1/2}$)	COR	COM	CORM	CRM
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,08	0,29	5,23	5,17	4,72	5,60
0,17	0,41	6,33	6,38	6,05	6,78
0,50	0,71	9,42	8,87	8,98	9,62
1,00	1,00	12,54	11,47	11,41	12,34
1,50	1,22	15,26	12,93	13,11	13,90
3,00	1,73	20,33	16,04	17,12	17,37
5,00	2,24	25,77	20,10	21,63	22,14
8,00	2,83	29,18	24,13	25,94	27,17
24,00	4,90	29,79	33,02	30,39	31,52
24,50	4,95	28,34	31,65	29,34	30,29
25,00	5,00	27,38	31,16	28,66	29,84
25,50	5,05	26,14	30,32	27,94	29,06
28,50	5,34	18,75	26,37	22,99	25,50
31,50	5,61	14,19	23,57	19,68	22,91
48,00	6,93	1,82	5,85	3,60	6,52
120,00	10,95	0,31	0,00	0,06	0,00
Coeficiente de Capilaridade ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$)		10,94	8,01	8,64	8,71

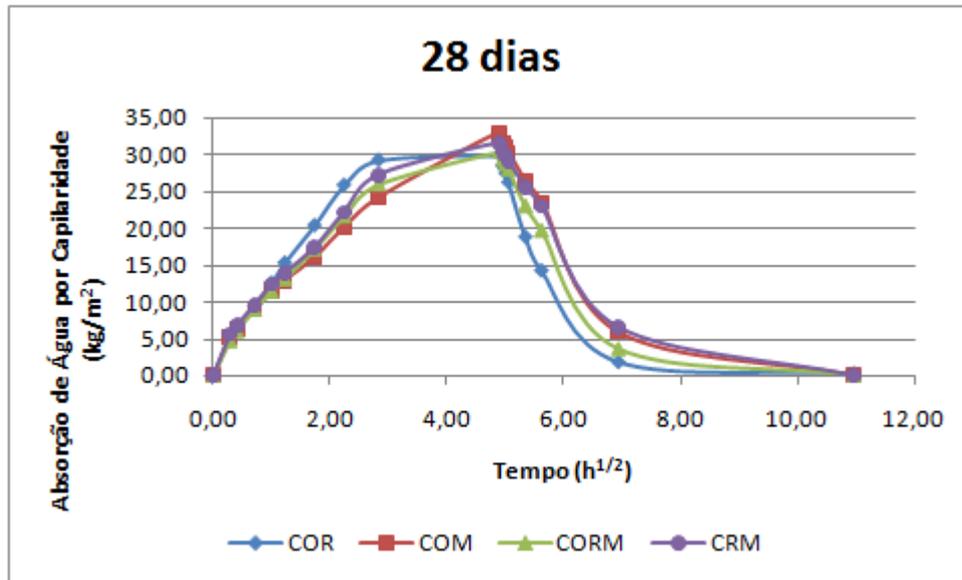


Figura 54 - Absorção de água por capilaridade (kg/m²) aos 28 dias

Tabela 29 - Absorção de água por capilaridade (kg/m²) e coeficiente de capilaridade (kg/m².h^{1/2}) aos 90 dias

90 dias					
Tempo de Imersão (h)	Tempo de Imersão (h ^{1/2})	COR	COM	CORM	CRM
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,17	0,41	5,30	7,52	7,52	7,90
0,50	0,71	8,37	11,33	11,65	11,64
1,00	1,00	11,22	16,40	15,61	16,80
1,50	1,22	13,59	18,08	18,73	18,55
3,00	1,73	19,58	24,83	26,23	25,30
5,00	2,24	24,42	31,28	32,53	31,54
8,00	2,83	29,13	37,93	40,36	38,13
24,00	4,90	29,86	46,57	42,82	40,44
24,50	4,95	27,96	45,70	41,89	39,64
25,00	5,00	26,68	44,90	41,33	38,76
25,50	5,05	25,58	44,21	40,61	38,01
28,50	5,34	17,95	41,04	37,44	34,81
31,50	5,61	10,79	37,50	34,01	31,32
48,00	6,93	1,28	15,59	17,10	9,42
120,00	10,95	0,06	0,57	4,06	0,00
Coeficiente de Capilaridade (kg/m ² .h ^{1/2})		10,15	12,93	13,73	13,04

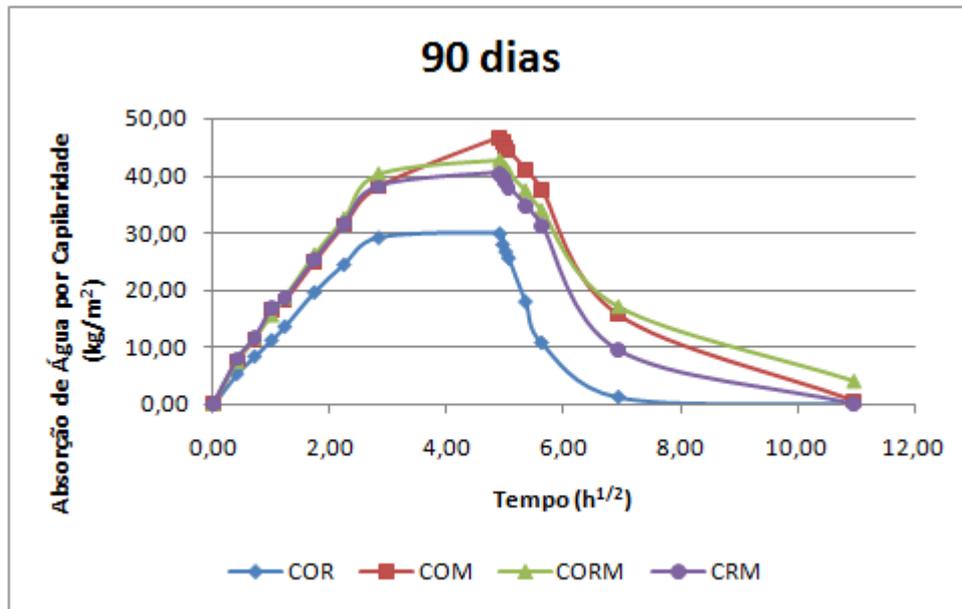


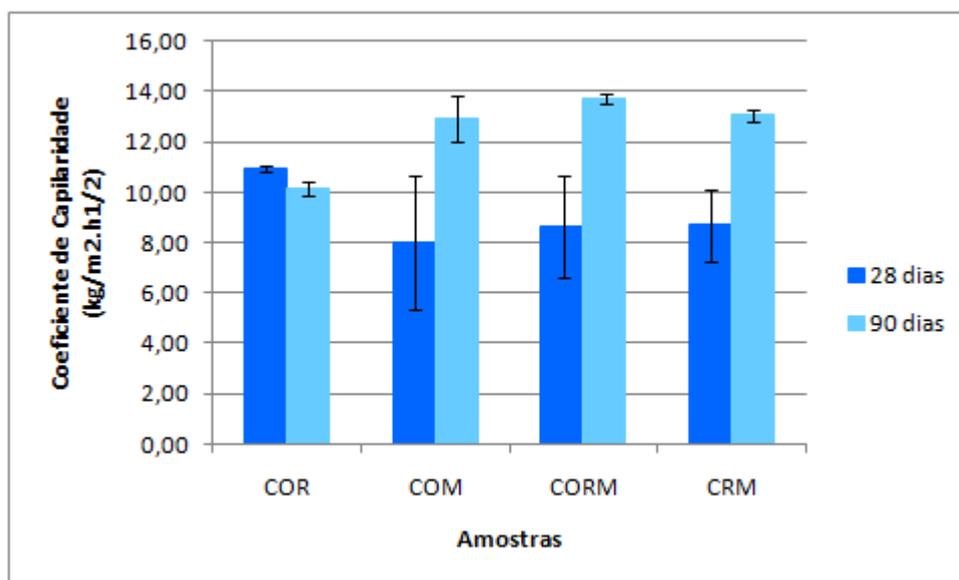
Figura 55 - Absorção de água por capilaridade (kg/m²) aos 90 dias

Analisando os dados presentes nas tabelas (Tabela 28 e Tabela 29) e nos gráficos (Figura 54 e Figura 55) verifica-se que, aos 28 dias, todas as argamassas apresentam um absorção de água por capilaridade semelhante ao longo do tempo, embora a argamassa COR (sem metacaulino) apresente um maior coeficiente de capilaridade e uma secagem mais rápida. Aos 90 dias, as argamassas COM, CORM e CRM (com metacaulino) apresentam uma absorção de água por capilaridade igualmente semelhante. No entanto, com a argamassa COR (sem metacaulino) o comportamento já é muito distinto, apresentando uma absorção de água muito inferior às restantes argamassas, devido à carbonatação.

Com a presença de metacaulino ocorre um preenchimento de poros da calcite e, por outro lado, formação de CSH (compostos de silicatos de cálcio), a estrutura porosa fica diferente, ocorre uma variação na microestrutura, provavelmente os poros serão de menor diâmetro, o que aumenta a velocidade de absorção.

Tabela 30 - Coeficiente de capilaridade ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$) aos 28 e aos 90 dias

Amostras	Coeficiente de Capilaridade ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$)			
	28 dias		90 dias	
	Média	D.P.	Média	D.P.
<i>COR</i>	10,94	0,10	10,15	0,25
<i>COM</i>	8,01	2,64	12,93	0,89
<i>CORM</i>	8,64	2,03	13,73	0,21
<i>CRM</i>	8,71	1,42	13,04	0,23

**Figura 56** - Coeficiente de capilaridade ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$) aos 28 e aos 90 dias

Na tabela e no gráfico supracitados (Tabela 30 e Figura 56) figuram os resultados do coeficiente de capilaridade obtidos dos 28 e aos 90 dias de idade. Através da sua análise, observa-se que as argamassas compostas por metacaulino (COM, CORM e CRM) apresentam um coeficiente de capilaridade inferior à argamassa sem metacaulino na sua composição, aos 28 dias. No entanto, aos 90 dias tudo se altera, verificando-se que o coeficiente de capilaridade aumenta significativamente nas argamassas com metacaulino e, na argamassa COR, a capilaridade baixa um pouco em relação ao resultado obtido aos 28 dias.

Analisando em conjunto os valores de coeficiente de capilaridade aos 28 e 90 dias, verifica-se que este, nas argamassas compostas por metacaulino, aumenta ao longo dos tempos, por conseguinte, na argamassa que não inclui metacaulino na sua composição, este coeficiente baixa um pouco ao longo dos tempos. Possivelmente, quando não existe metacaulino a carbonatação implica redução da porosidade total, logo menor capilaridade. No caso da existência de metacaulino, a reacção hidráulica produz poros de menor diâmetro, o que implica uma absorção mais rápida, portanto implicará um maior coeficiente de capilaridade.

7.4.4 Absorção de água por capilaridade de azulejos novos

Conforme já foi mencionado nos pontos 5.1.3 e 6.2.2.3, a determinação da absorção de água por capilaridade foi efectuada segundo uma alteração ao procedimento.

Este ensaio foi efectuado apenas com azulejos novos (Tabela 31). O ensaio foi efectuado simulando a absorção de água a partir da superfície interior do azulejo (tardoz).

Tabela 31 – Caracterização das amostras

	Amostra	Dimensões (cm ²)
4	Azulejo Novo 4	14,0 x 14,0
5	Azulejo Novo 5	14,0 x 14,0
6	Azulejo Novo 6	14,0 x 14,0

Os azulejos novos diferenciam-se unicamente pelo tipo de tardoz, sendo a pasta igual em todas as amostras (Figura 57).



Figura 57 – Tardoz dos azulejos novos 4, 5 e 6 ensaiados (respectivamente).

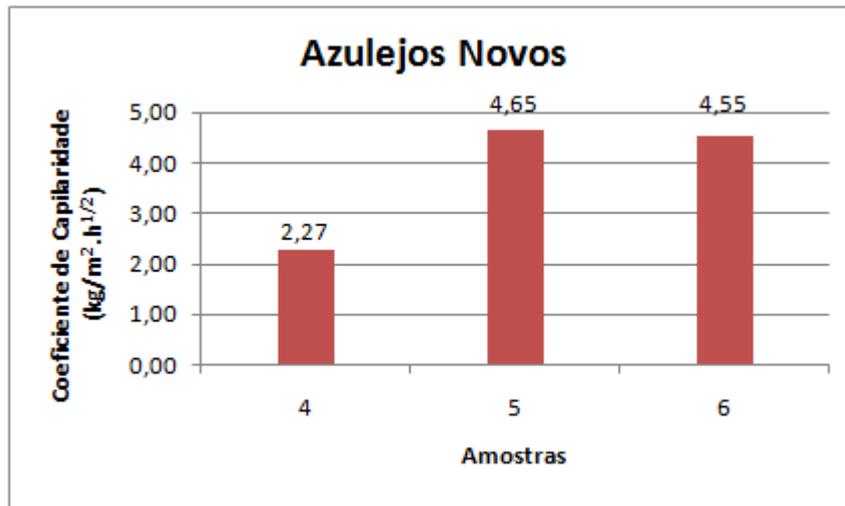


Figura 58 - Coeficiente de capilaridade de azulejos novos

Da análise da Figura 58 verifica-se que o coeficiente de capilaridade dos azulejos novos é similar, com a exceção do azulejo 4 que apresenta um coeficiente de capilaridade muito baixo, indicando uma menor absorção de água. Todos os azulejos provêm de diferentes fabricantes: o azulejo 4 provém da fábrica Primus Vitória (Aveiro), o azulejo 5 da Hcer (Aveiro) e o azulejo 6 da Azupal (Pombal). Embora seja conhecida a proveniência destes azulejos, não foi possível aceder à composição das pastas destes azulejos.

8 Aplicação e ensaio das argamassas desenvolvidas em painéis nas fachadas azulejadas

Após os diversos ensaios laboratoriais efectuados em ambientes condicionados, foram aplicadas as argamassas estudadas em painéis nas fachadas azulejadas dos edifícios em estudo.

A aplicação foi efectuada no edifício da Rua Camilo Castelo Branco (CCB) e da Rua Dr. António Sobreira (DAS).

As argamassas usadas na aplicação dos painéis de 12 azulejos (6 azulejos antigos e 6 azulejos novos) foram a COR (argamassa de cal, areia de Ovar e areia de rio) e a CRM (argamassa de cal, areia de rio e metacaulino), devido aos melhores resultados obtidos ao longo dos diversos ensaios.

É importante referir que a edificação situada na Rua Camilo Castelo Branco necessitou de uma maior espessura de argamassa em comparação com a Rua Dr. António Sobreira e que, após a colocação do painel na Rua Camilo Castelo Branco colocou-se plástico por cima e na Rua Dr. António Sobreira não se colocou.

Nestes painéis azulejados foram efectuados dois ensaios: tubos de Karsten e análise de sais.

8.1 Absorção de água

Após efectuado o ensaio com os Tubos de Karsten nas duas fachadas supramencionadas, obteve-se os seguintes valores de água absorvida (cm^3) ao longo dos 60 min (Tabela 32).

8.1.1 Rua Camilo Castelo Branco (CCB)

Tabela 32 – Água absorvida (cm^3) ao longo de 60 min na fachada da Rua Camilo Castelo Branco (CCB)

Tempo (min)	COR			CRM		
	Azulejo Novo	Azulejo Antigo	Juntas	Azulejo Novo	Azulejo Antigo	Juntas
5	0	0		0,40	0,10	
10	0,10	0,10		0,40	0,15	
15	0,10	0,10	Absorveu tudo imediatamente	0,45	0,15	Absorveu tudo imediatamente
30	0,20	0,10		0,50	0,20	
60	0,20	0,10		0,50	0,20	



Figura 59 – Imagem ilustrativa do ensaio realizado *in situ*

Da análise da Tabela 32 pode-se constatar que numa argamassa COR, o azulejo novo e o azulejo antigo têm um comportamento igual nos primeiros 15 minutos e nos seguintes o azulejo antigo não absorve mais água nenhuma e o azulejo novo absorve mais $0,10 \text{ cm}^3$.

Na argamassa CRM, o azulejo novo absorve muito mais que o azulejo antigo. No fim do ensaio, o azulejo novo absorve mais do dobro que o azulejo antigo.

Nas juntas, após a colocação de água nos tubos de Karsten, ambas as argamassas absorveram imediatamente toda a água que o tubo continha. De notar que as juntas são efectuadas com pó de pedra calcária com cal. As que foram realizadas para o ensaio não têm tanta quantidade de pó de pedra como o produto final terá, embora estas juntas preencham apenas um pouco da espessura do azulejo.

8.1.2 Rua Dr. António Sobreira (DAS)

Tabela 33 – Água absorvida (cm^3) ao longo de 60 min na fachada da Rua Dr. António Sobreira (DAS)

Tempo (min)	COR			CRM		
	Azulejo Novo	Azulejo Antigo	Juntas	Azulejo Novo	Azulejo Antigo	Juntas
5	0,05	0,10		0,05	0,03	
10	0,07	0,15		0,05	0,05	
15	0,07	0,18	Absorveu tudo imediatamente	0,05	0,05	Absorveu tudo imediatamente
30	0,10	0,22		0,10	0,08	
60	0,10	0,30		0,10	0,10	



Figura 60 – Imagem ilustrativa do ensaio realizado *in situ*

Da análise da Tabela 33 constata-se que numa argamassa COR, o azulejo novo ao longo dos 60 minutos absorve tanto como o azulejo antigo nos primeiros 5 minutos. No fim do ensaio, o azulejo antigo absorve o triplo do que o azulejo novo absorveu.

No que diz respeito à argamassa CRM, ambos os azulejos apresentam aos 60 minutos $0,10 \text{ cm}^3$ de água absorvida, embora o azulejo novo tenha absorvido mais água no início que o outro azulejo.

Nas juntas há absorção imediata da água.

Contudo, o azulejo novo absorve menos que o antigo.

8.2 Análise de sais nas novas argamassas

Foi realizada novamente a análise de sais, mas desta vez nas argamassas estudadas, após a colocação *in situ* na fachada da Rua António Sobreira (DAS). Foram analisados os cloretos, os sulfatos e os nitratos.

A Tabela 34 expõe os resultados obtidos nesta análise.

Tabela 34 – Resultados relativos à análise de sais das argamassas estudadas

Amostras	Cloretos (mg/l Cl ⁻)	Sulfatos (mg/l SO ₄ ²⁻)	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	Nitritos (mg/l NO ₂ ⁻)
CRM	0-500	> 800	100	1
COR	0	> 400	0	0

Pela análise da tabela anterior constata-se que a argamassa que possui na sua composição metacaulino (CRM) apresenta uma maior quantidade de sulfatos ($> 800 \text{ mg/l SO}_4^{2-}$) do que a argamassa sem metacaulino (COR). Para além de conter sulfatos na sua composição, a argamassa CRM contém ainda entre 0 a 500 mg/l de cloretos, 100mg/l de nitratos e 1 mg/l de nitritos. A argamassa COR apenas possui na sua composição sulfatos ($> 400 \text{ mg/l}$), possivelmente devido à não existência de metacaulino na sua composição.

9 Análise Geral de Resultados

No presente capítulo será efectuada uma análise global a todos os resultados de modo a comparar todos os resultados obtidos, efectuar paralelismos entre propriedades e verificar similaridades entre argamassas e azulejos novos e antigos.

9.1 Análise de resultados das argamassas antigas

Após os diversos ensaios realizados às argamassas antigas verificou-se que estas são de cal aérea e areia siliciosa, com uma componente argilosa. Existem frequentemente sais, nomeadamente halite, indicando o ambiente salino derivado da presença de mar a cerca de 5 km.

Pelo ensaio de permeabilidade ao vapor de água do azulejo verificou-se que a permeância deste, obtida nas diferentes fachadas, varia bastante de edifício para edifício e mesmo em zonas diferentes duma mesma fachada, porque há uma degradação diferencial nas amostras. O mesmo acontece quando temos um conjunto de azulejo com argamassa. Em amostras unicamente com argamassa, embora os resultados obtidos variem de fachada para fachada, numa mesma fachada os valores são muito próximos. A maior variação ocorrida nas amostras com azulejo (só azulejo ou azulejo e argamassa) pode ser devida a diferentes graus de degradação do vidro do azulejo. Verifica-se ainda que, como era expectável, o azulejo é sempre muito menos permeável ao vapor de água que a argamassa, excepto em casos de total degradação do vidro.

Analisando a quantidade de sais constata-se que as amostras provenientes do Museu de Ovar (MO) e da Rua Dr. António Sobreira (DAS) possuem uma maior quantidade de cloretos, em comparação com as amostras da Rua José Falcão (JF) e Rua Camilo Castelo Branco (CCB). A amostra que apresenta uma maior quantidade de sulfatos é a JF, o que, devido à sua localização, tem lógica, pois este edifício localiza-se numa zona bastante movimentada por veículos poluentes. Verifica-se ainda a presença de nitratos em todas as amostras, embora em muita pouca quantidade.

Relacionando a permeabilidade ao vapor de água com a análise de sais (Tabela 35), pode-se constatar que as amostras MO_Z1_A5 e MO_Z3_A2 apresentam uma quantidade de sais igual e em comparação apresentam uma espessura de camada de ar similar. Quanto à amostra MO_Z2_A1, verifica-se que contem uma maior quantidade de cloretos que as outras amostras e que também possui nitratos na sua composição. A espessura de camada de ar desta amostra é muito baixa, sendo a amostra muito permeável, talvez devido à degradação do azulejo ou da interface argamassa-azulejo.

Tabela 35 – Relação entre os resultados obtidos à análise de sais com a permeabilidade ao vapor de água

Amostras	Cloretos (mg/l Cl ⁻)	Sulfatos (mg/l SO ₄ ²⁻)	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	Nitritos (mg/l NO ₂ ⁻)	Espessura de camada de ar, S _D (m)
<i>MO_Z2_A1</i>	500	< 200	50	0	1,25
<i>MO_Z1_A5</i>	0 - 500	< 200	0	0	7,48
<i>MO_Z3_A2</i>	0 - 500	< 200	0	0	12,48
<i>JF_Z1_A3</i>	0 - 500	200 - 400	10	0	2,90
<i>JF_Z2_A6</i>	0 - 500	< 200	10	0	1,68
<i>CCB</i>	0 - 500	< 200	25	0	2,21
<i>DAS</i>	500	< 200	10	0	1,19

Passando para a Rua Dr. José Falcão (JF) verifica-se que a presença de sais é similar em ambas as amostras, embora a amostra JF_Z1_A3 contenha uma maior quantidade de sulfatos na sua composição. Esta amostra apresenta uma maior espessura de camada de ar, logo é menos permeável que a outra amostra.

Numa análise geral verifica-se que as amostras menos permeáveis são as amostras do Museu de Ovar, pois possuem uma espessura de camada de ar superior às outras. E a amostra mais permeável é a da Rua Dr. António Sobreira (DAS).

9.2 Análise de resultados das argamassas desenvolvidas

A Tabela 36 seguinte sistematiza os resultados obtidos nas novas formulações de argamassas.

Tabela 36 – Características obtidas para as diferentes argamassas

Características	Argamassas			
	COR	COM	CORM	CRM
Espalhamento (mm)	119,50	133,25	124,00	124,50
Massa Volúmica (g/dm ³)	2037,60	1969,15	2007,10	2001,65
Relação Ponderal Água/Ligante	1,79	1,38	1,21	1,21
Coeficiente de Capilaridade (kg/m ² .h ^{1/2})	28d	10,94	8,01	8,64
	90d	10,15	12,93	13,73
Análise de Sais	Cloretos (mg/l Cl ⁻)	0		0 - 500
	Sulfatos (mg/l SO ₄ ²⁻)	> 400	ND	ND
	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	0		100
	Nitritos (mg/l NO ₂ ⁻)	0		1

ND - Não Determinado

Pela análise da Tabela 36 pode-se concluir que a argamassa que possui maior espalhamento é a CRM (cal, areia de rio e metacaulino), embora a relação ponderal entre água e ligante seja a mais baixa, devido à menor absorção da areia de rio face à areia de Ovar, que é mais argilosa.

A argamassa COR (cal, areia de Ovar e areia de rio) é a argamassa com menor espalhamento, maior massa volúmica e maior relação água/ligante. Esta apresenta o coeficiente de capilaridade mais elevado aos 28 dias em comparação com as outras argamassas e aos 90 dias é a que apresenta um coeficiente de capilaridade mais baixo.

Comparativamente, pode-se constatar que as argamassas com metacaulino, aos 90 dias aumentaram o coeficiente de capilaridade e a que não contém metacaulino diminuiu um pouco o valor obtido aos 28 dias. Esta diminuição pode ser explicada pela influência da carbonatação, pois ocorre uma diferenciação da estrutura porosa. As argamassas com metacaulino têm CSH fibroso e não preenchimento de poros com cristais calcite, o que acontece na argamassa sem metacaulino.

A argamassa COR apenas contém sulfatos na sua composição, enquanto a argamassa CRM contém cloretos, nitratos e uma maior quantidade de sulfatos em relação à COR.

9.3 Análise comparativa entre argamassas e azulejos novos e antigos

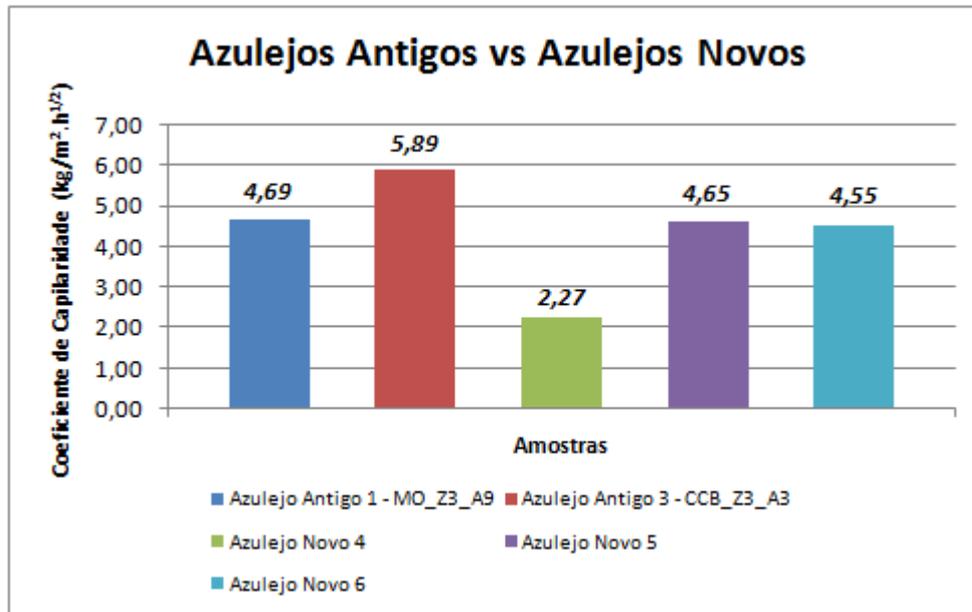


Figura 61 – Imagem comparativa entre o coeficiente de capilaridade de azulejos novos e azulejos antigos

Pela análise da Figura 61 verifica-se que o coeficiente de capilaridade dos azulejos antigos e novos é similar, embora os azulejos antigos apresentem um coeficiente de capilaridade um pouco superior ao dos azulejos novos. Possivelmente, os principais factores que influenciam nesta diferença de coeficientes de capilaridades são a pasta do azulejo e a sua idade. Quanto maior a degradação, maior o coeficiente de capilaridade. O azulejo novo 4 é a excepção, pois apresenta um coeficiente de capilaridade bastante inferior ao das restantes, indicando uma menor absorção de água.

Tabela 37 – Absorção de água por capilaridade de azulejos (kg/m²)

Tempo de Imersão (h)	Tempo de Imersão (h ^{1/2})	Absorção de Água por Capilaridade (kg/m ²)				
		1 - MO_Z3_A9	3 - CCB_Z3_A3	4	5	6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,07	0,26	1,87	2,18	0,59	2,00	1,84
0,17	0,41	2,19	2,87	0,56	1,90	1,86
0,25	0,50	2,35	2,95	0,57	1,89	1,88
0,33	0,58	2,28	2,91	0,59	1,86	1,89
0,42	0,65	2,28	2,89	0,56	1,85	1,88
0,50	0,71	2,28	2,92	0,54	1,89	1,87
0,58	0,76	2,28	2,92	0,54	1,83	1,86
1,00	1,00	2,28	2,89	0,53	1,85	1,82
2,00	1,41	2,28	2,89	0,54	1,85	1,81
2,50	1,58	2,27	2,93	0,53	1,85	1,80
3,00	1,73	2,26	2,90	0,54	1,85	1,80
3,50	1,87	2,25	2,89	0,53	1,84	1,79
4,00	2,00	2,25	2,89	0,53	1,84	1,79
19,25	4,39	1,98	2,41	0,28	1,61	1,55
23,83	4,88	1,90	2,25	0,20	1,54	1,48
119,42	10,93	0,36	0,31	0,14	0,46	0,44
121,42	11,02	0,35	0,29	0,08	0,45	0,43
Coeficiente de Capilaridade (kg/m ² .h ^{1/2})		4,69	5,89	2,27	4,65	4,55

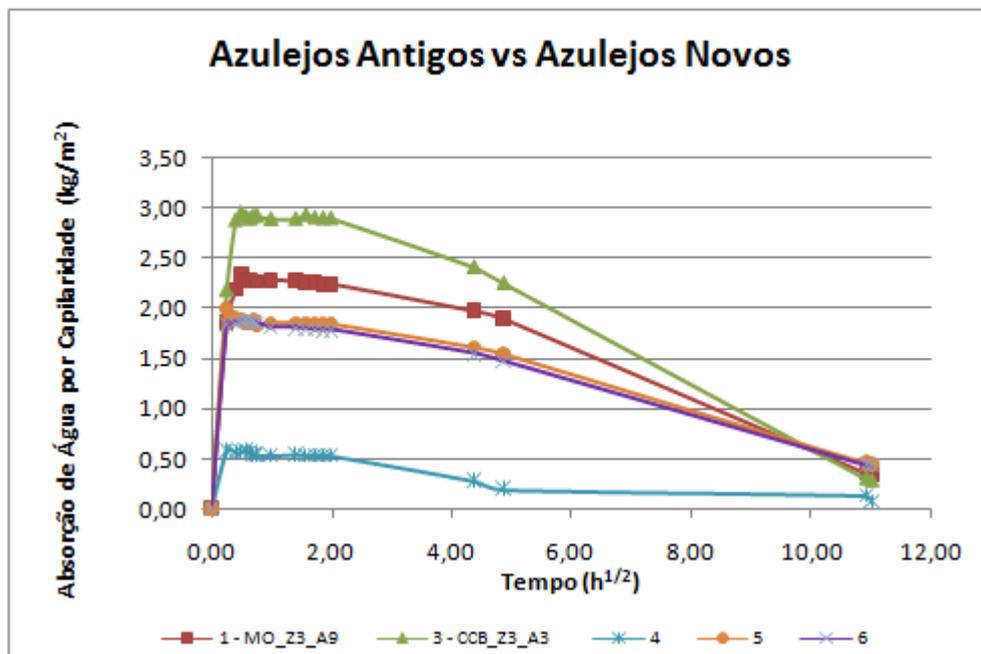


Figura 62 – Absorção de água por capilaridade (kg/m²)

Pela análise da Tabela 37 e da Figura 62, nota-se mais a diferença entre os azulejos novos e antigos, não ao nível do coeficiente de capilaridade, mas da absorção capilar. Através das mesmas pode-se constatar que os azulejos novos apresentam uma menor absorção de água em comparação com os antigos, embora o valor do coeficiente de capilaridade seja similar entre os azulejos 5 e 6 e os azulejos antigos. O azulejo novo 4 mostra as maiores diferenças de coeficiente de capilaridade, constatando-se assim uma menor absorção de água (Figura 62).

Através da tabela e da figura supramencionada verifica-se ainda que os azulejos antigos se comportam melhor quanto à secagem. A Figura 62 mostra que estes apresentam uma secagem mais rápida.

O azulejo CCB_Z3_A3 é o que apresenta uma maior absorção de água por capilaridade. Os dados relativos a esta amostra registam uma absorção máxima de $2,95 \text{ kg/m}^2$, aos 15 minutos.

O azulejo novo 4 é o que regista valores de absorção de água mais baixos, sendo o seu pico máximo de $2,00 \text{ kg/m}^2$, atingida imediatamente 4 minutos após o início do ensaio.

Assim, é provável que os azulejos novos tenham menor porosidade total que os antigos, embora a dimensão dos poros de uns e outros não seja muito diferente, excepto no que se refere ao azulejo novo 4.

Tabela 38 – Análise de sais argamassas antigas vs argamassas novas

Argamassas	Amostras	Cloretos (mg/l Cl ⁻)	Sulfatos (mg/l SO ₄ ²⁻)	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	Nitritos (mg/l NO ₂ ⁻)
Antigas	MO_Z2_A1	500	< 200	50	0
	MO_Z1_A5	0 - 500	< 200	0	0
	MO_Z3_A2	0 - 500	< 200	0	0
	JF_Z1_A3	0 - 500	200 - 400	10	0
	JF_Z2_A6	0 - 500	< 200	10	0
	CCB	0 - 500	< 200	25	0
	DAS	500	< 200	10	0
Novas	CRM	0-500	> 800	100	1
	COR	0	> 400	0	0

Através da análise da Tabela 38 verifica-se que as argamassas novas possuem na sua composição uma maior quantidade de sulfatos e menos cloretos que as argamassas antigas. As argamassas novas CRM (cal, areia de rio e metacaulino) contêm uma elevada quantidade de nitratos, sendo este sal inexistente nas outras argamassas nova COR (cal, areia de Ovar e areia de rio).

Os resultados obtidos no ensaio de capilaridade efectuado com os tubos de Karsten nas duas fachadas encontram-se na Figura 63 e Figura 64.

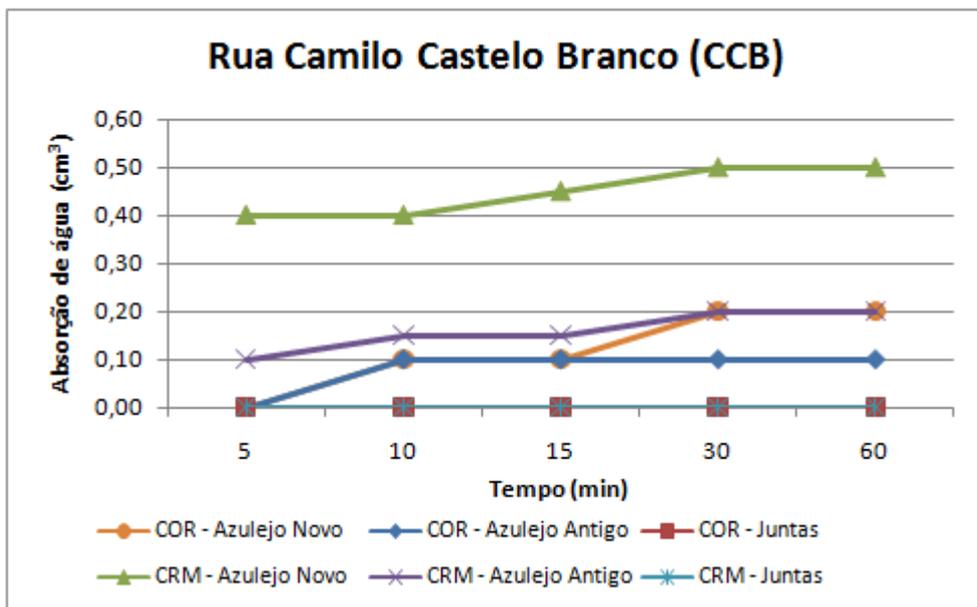


Figura 63 – Resultados obtidos através dos tubos de Karsten na Rua Camilo Castelo Branco (CCB)

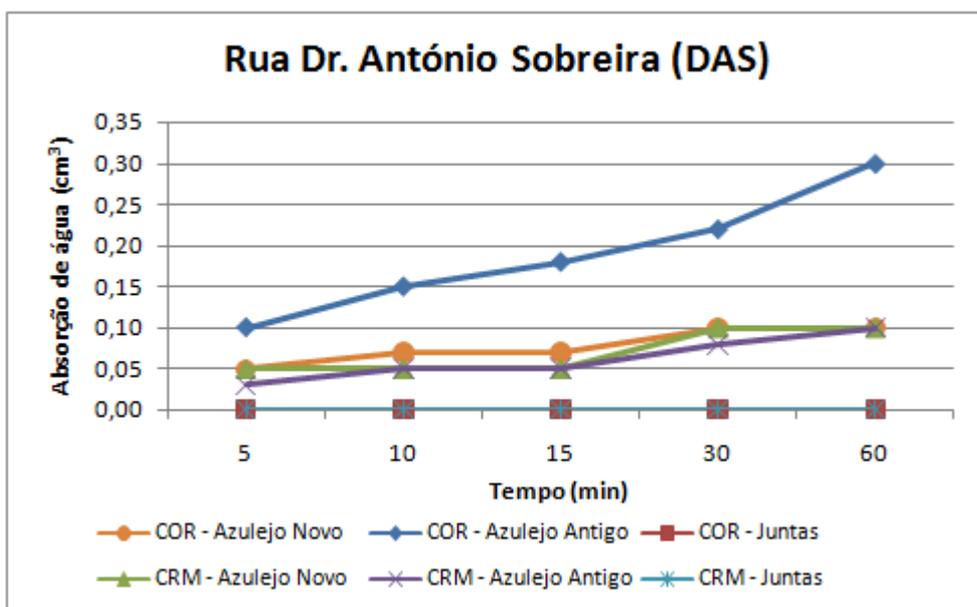


Figura 64 - Resultados obtidos através dos tubos de Karsten na Rua Dr. António Sobreira (DAS)

Da análise das Figura 63 e Figura 64, verifica-se que as juntas dos azulejos absorvem imediatamente toda a água em ambas as fachadas.

Pela observação da Figura 64 constata-se que o azulejo novo absorve menos que o azulejo antigo independentemente da argamassa. Já a Figura 63 mostra que o azulejo antigo absorve menos que o novo. Tal poderá dever-se a uma maior degradação dos azulejos antigos ensaiados na fachada da Rua Dr. António Sobreira, em relação aos ensaiados na outra fachada.

10 Conclusões

O estudo efectuado permitiu melhorar o conhecimento sobre o comportamento face à água de revestimentos azulejares antigos (sistema argamassa/azulejo) de finais do século XIX–inícios do século XX de fachadas de edifícios da cidade de Ovar.

Este estudo englobou ainda a caracterização de novas formulações de argamassas de cal com adição de metacaulino averiguando o seu comportamento face à água e a compatibilidade das argamassas estudadas com suportes antigos.

Foram cumpridos os objectivos propostos para a presente dissertação:

- Determinação das características físicas sobre o comportamento face à água (absorção de água por capilaridade e permeabilidade ao vapor de água, análise de sais) de argamassas e azulejos antigos oriundos de diferentes edifícios da Cidade de Ovar.
 - Elaboração de argamassas de cal com e sem adição de metacaulino (pozolana artificial) compatíveis com edifícios antigos.
 - Determinação das características de comportamento face à água das argamassas desenvolvidas.
 - Aplicação de argamassas estudadas em painéis nas fachadas azulejadas nos edifícios alvo de intervenção e respectivo ensaio que visa determinar a absorção destas novas argamassas em conjunto com o azulejo.
-
- Caracterização de argamassas antigas

As argamassas e azulejos antigos provenientes das fachadas azulejadas da cidade de Ovar foram sujeitos a diversas análises e ensaios de caracterização.

Através do ensaio de DRX verificou-se que todas as argamassas provenientes dos edifícios em estudo são constituídas por cal aérea, abundam em quartzo e calcite e apresentam alguns elementos argilosos. Apenas uma das amostras de argamassa proveniente de uma edificação localizada na Rua Elias Garcia (EG) tem vestígios de portlandite, verificando-se assim que esta não carbonatou completamente. Praticamente todas as amostras de diferentes argamassas têm vestígios de halite e verificou-se ainda a presença de halite numa das amostras da Rua Elias Garcia (EG_9), o que

comprova a contaminação destes revestimentos com sal (cloreto de sódio) proveniente do ambiente marítimo.

Através de ATG verificou-se a composição das argamassas tendo-se concluído que, apesar de se encontrarem colocadas entre o azulejo e o paramento, estavam completamente carbonatadas. Foi determinada a percentagem de ligante presente nas diversas argamassas.

No ensaio de absorção de água por capilaridade onde se comparou a absorção máxima dos azulejos antigos com os azulejos novos verificou-se que a absorção de água dos azulejos antigos é superior à dos azulejos novos, demonstrando assim que ao longo dos anos a pasta dos azulejos foi melhorada, ajudando assim ao combate de absorção de água por parte dos azulejos. No entanto, a diferença pode também dever-se a alguma degradação já ocorrida nos azulejos antigos.

Os resultados obtidos com o ensaio de permeabilidade ao vapor de água de argamassas antigas, numa primeira instância foram agrupados por edificação, verificando-se as grandes variações de espessura de camada de ar de difusão equivalente dependendo dos diversos conjuntos (azulejo, azulejo + argamassa, argamassa) e das diferentes zonas onde se encontravam. De modo a dar uma perspectiva comparativa dos variados conjuntos de diferentes fachadas de edifícios agrupou-se os resultados por tipo de conjunto.

Relativamente à permeabilidade ao vapor de água dos azulejos e dos conjuntos azulejo com argamassa verificou-se uma grande variabilidade de valores. Já os resultados das argamassas eram muito próximos. Verifica-se a elevada influência do azulejo neste parâmetro, sendo factores de variabilidade a composição e o estado de conservação do azulejo. Como era esperado, o azulejo é, em geral, muito menos permeável ao vapor de água que a argamassa, excepto nos casos de elevada degradação do vidrado do azulejo.

Contudo, pode-se constatar que a absorção capilar e a permeabilidade do conjunto azulejo com argamassa é muito variável, devido principalmente à degradação diferencial que existe numa fachada.

- Caracterização das argamassas desenvolvidas e compatibilização com argamassas antigas

Após o desenvolvimento das novas argamassas, estas foram sujeitas a ensaios para caracterizar o seu comportamento face à água.

Com a determinação do coeficiente de absorção de água dos quatro tipos de argamassas verificou-se que a argamassa sem adição de metacaulino foi a que absorveu uma maior quantidade de água aos 28 dias, enquanto as outras argamassas absorveram quase a mesma quantidade de água. No entanto, aos 90 dias tudo se inverteu, verificando-se que as argamassas com metacaulino absorveram bastante mais água que a argamassa composta apenas por cal e areia. Contudo,

verifica-se ainda que a argamassa composta por cal, metacaulino e pelas duas areias é a que absorve uma maior quantidade de água.

Com a aplicação dos painéis nas fachadas dos edifícios alvo de intervenção e posterior ensaio com os tubos de Karsten obtiveram-se resultados bastante diferentes nas duas fachadas. A absorção pelas juntas é extremamente elevada, sendo necessário que o sistema permita a secagem.

Será importante continuar com o trabalho efectuado este ano, a fim de se proceder à caracterização mais aprofundada das argamassas antigas das fachadas azulejadas da Cidade de Ovar (Cidade Museu do Azulejo), pelo facto da vasta panóplia existente.

Assim propõe-se os seguintes desenvolvimentos futuros:

- Os ensaios realizados em argamassas novas deveriam ser realizados não só aos 28 e aos 90 dias, mas também aos 6 meses e com mais idade, de modo a verificar-se o seu comportamento ao longo dos tempos.
- O metacaulino é um material pozolânico que merece um vasto estudo, a fim de determinar as suas potencialidades no que diz respeito à sua compatibilização com argamassas antigas.
- Estudar a permeabilidade ao vapor de água dos azulejos novos, da argamassa nova e do sistema argamassa nova/azulejo novo.
- Estudar a absorção de água por capilaridade de argamassas antigas e do sistema argamassa/azulejo antigos.
- Devem ser elaboradas e preenchidas fichas de inspecção dos diversos edifícios, de modo a tentar reunir a mais vasta informação possível sobre o edifício em causa, para posteriormente se proceder à sua adequada manutenção.
- Aplicação de painéis de fachadas azulejadas com os diversos tipos de argamassa sob azulejos novos e antigos, de modo a estudar o seu comportamento ao longo do tempo.

Referências Bibliográficas

- [1] TEIXEIRA, Bruno Miguel Fernandes Gomes; VALENTE, Carla Sofia dos Santos – Monografia “Patologia das Construções. Enquadramento Legal e Regulamentar”, Dezembro de 2006
- [2] A Evolução do Parque Habitacional Português – Reflexões para o Futuro, Censos 2001, Instituto Nacional de Estatística (INE)
- [3] www.bcsdportugal.org/ – BCSD Portugal, Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável
- [4] VÁSQUEZ, Isabel Breda – A Reabilitação do Património Edificado no Contexto da Regeneração Urbana, 2º Seminário – A Intervenção no Património. Práticas de Conservação e Reabilitação, 2005
- [5] www.inh.pt – Instituto Nacional da Habitação (INH)
- [6] AZEVEDO, Carla – Jornal “Praça Pública” – Entrevista a Manuel de Oliveira (Presidente da Câmara Municipal de Ovar), 2007
- [7] www.oazulejo.net – Dra. Maria Isabel Alves Planas Almasqué e Dr. António José de Barros Veloso
- [8] ALMASQUÉ, Isabel; Veloso, A. J. Barros – Azulejaria de Exterior em Portugal, Edições INAPA, S.A., 1991
- [9] <http://www.arelíquia.com.br>
- [10] <http://www.itaucultural.org.br/>
- [11] QUEIRÓS, José – Cerâmica Portuguesa e Outros Estudos, Editorial Presença, Lisboa, 2002
- [12] ALMASQUÉ, Isabel; VELOSO, A. J. Barros – O Azulejo Português e a Arte Nova, Edições INAPA, S.A., Lisboa 2000
- [13] <http://paginas.fe.up.pt/porto-ol/bcr/brasil.html>
- [14] <http://www.instituto-camoes.pt>
- [15] FERREIRA, Maria Isabel Moura – Revestimentos Azulejares Oitocentistas de Fachada, em Ovar. Contributos para uma Metodologia de Conservação e Restauro, Universidade de Évora, Julho 2007
- [16] http://pwp.netcabo.pt/pintazul/default_files/page0004.htm
- [17] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Azulejo>

-
- [18] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). Ceramic tiles – Definition. Classification, characteristics and marking EN 14411: 2003 (ISO 13006: 1998, modified): 2003. Bruxelles, 2003
- [19] SÁ, Ana Vaz – Durabilidade de Cimentos-Cola em Revestimentos Cerâmicos Aderentes a Fachadas, Porto, Janeiro de 2005
- [20] WAN (CAPS)anderley, Moura Ingrid; Sichieri, Paulo Eduvaldo – Azulejo – Revestimento Cerâmico em Áreas Externas, Julho/Agosto de 2005
- [21] CARVALHO LUCAS, José A.; MENDES ABREU, Miguel Marinho – Revestimentos Cerâmicos Colados. Descolamento, LNEC, Lisboa 2005
- [22] <http://www.ovarvirtual.com/versao2/azulejo.asp?azulejo=Azulejofachada>
- [23] <http://www.ovarvirtual.com/versao2/azulejo.asp?azulejo=Azulejomuseu>
- [24] <http://www.pousadasjuventude.pt/>
- [25] <http://www.rotadaluz.pt/index.php?ID=568&concelho=11>
- [26] VEIGA, M. Rosário – Argamassas compatíveis para intervenção em edifícios antigos. Oficina: Técnicas Tradicionais de Revestimento – C. M. Beja, CENFIC, 2007
- [27] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Argamassa>
- [28] VEIGA, M. Rosário – Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes. Actas do 3ºENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa, LNEC, Maio de 2003
- [29] VEIGA, M. Rosário – As argamassas na conservação. In Actas das 1as Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Avaliação e Reabilitação das Construções existentes. Aveiro, 26 de Novembro de 2003. Conferência convidada. Coleção Comunicações, COM 103, LNEC, Lisboa 2003
- [30] MATOS, Vânia C. S.; CERQUEIRA, Virgínia L. M. – Argamassas a usar na reabilitação e reforço de edifícios antigos, Universidade de Aveiro, 2006
- [31] VELOSA, Ana Luísa P. L. – “Argamassas de cal com pozolanas para revestimentos de paredes antigas”, Tese para obtenção do grau de Doutoramento em Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, 2006
- [32] www.euromortar.com
- [33] COUTINHO, A. De Sousa – Fabrico e propriedades do betão, Volume I, LNEC, Lisboa, 1997

-
- [34] NASCIMENTO PAULO, Raquel Sofia V. M. – Tese de Mestrado “Caracterização de argamassas industriais”, Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, 2006
- [35] MARQUES, Sofia Margarida Figueiredo – Tese de Mestrado “Estudo de argamassas de reabilitação de edifícios antigos”, Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, 2005
- [36] www.construlink.com – Reabilitação de revestimentos de edifícios, 2006
- [37] LOPES, Paulo A. C.; HENRIQUES, Pedro F. P. – Argamassas de Reabilitação em Paredes de Alvenaria Antiga, Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil, 2006
- [38] TEIXEIRA, Gabriela de Barbosa; BELÉM, Margarida da Cunha – Diálogos de Edificação. Técnicas Tradicionais de Construção, Centro Regional de Artes Tradicionais (CRAT), Porto, 1998
- [39] HOLMES, Stafford; WINGATE, Michael – Building with lime – A practical introduction. Intermediate Technology Publications, London, 2000
- [40] <http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano1/CienciaDosMateriais/apontamentos> - Cal aérea e cal hidratada
- [41] PROJECTO OLD RENDERS – Metodologias para caracterização e conservação de argamassas de revestimento de edifícios antigos. Relatório final, Outubro de 2001
- [42] VEIGA, M. Rosário; CARVALHO, Fernanda – Argamassas de reboco para paredes de edifícios antigos: requisitos e características a respeitar. Cadernos edifícios 02, LNEC, Lisboa, Outubro de 2002
- [43] EN 12004 – Adhesives for tiles – Definitions and Specifications, March, 2001
- [44] EMOdico – Dicionário Técnico, EMO (European Mortar Industry Organization), Dezembro 2001
- [45] Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos – Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica (Apicer), Centro tecnológico da Cerâmica e do Vidro (CTCV), Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2003
- [46] LNEC Fe Pa 40.1- Revestimentos de paredes. Ensaio de absorção de água por capilaridade para amostras irregulares e friáveis, MOPTC, LNEC, NRI, Abril 2005
- [47] CEN, EN 1015-19 – Methods of test for mortar for masonry - Part 19: Determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars, 1998
- [48] CEN, EN 1015-3 – Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table), 1998
-

-
- [49] CEN, EN 1015-6 – Methods of test for mortar for masonry – Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar, 1998
- [50] CSTB - Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation. Modalités d'essais. Cahier 2669-4 CSTB, Cahiers du CSTB, 341, Paris, Juillet-Août 1993
- [51] CEN, EN 1015-18 – Methods of test for mortar for masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened rendering mortar, 1999
- [52] LNEC – Revestimentos de paredes. Ensaio de absorção de água sob baixa pressão. Fe Pa 39, LNEC, Lisboa, 2002