



**BRUNO MIGUEL
GOMES FERNANDES
TEIXEIRA**

**CONSERVAÇÃO DE FACHADAS AZULEJADAS EM
OVAR: COMPORTAMENTO MECÂNICO**



**BRUNO MIGUEL
GOMES FERNANDES
TEIXEIRA**

**CONSERVAÇÃO DE FACHADAS AZULEJADAS NA
CIDADE DE OVAR: COMPORTAMENTO MECÂNICO**

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 Professora Doutora Ana Luísa Pinheiro 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

o júri

presidente

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

Professora Doutora Maria Paulina Santos Forte de Faria Rodrigues
Professora auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

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

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

agradecimentos

Esta dissertação é o culminar de uma vida académica repleta de alegrias e bons momentos vividos e muita camaradagem. É também o realizar de um sonho pessoal desde tenra idade. Deste modo, quero assinalar o meu profundo reconhecimento e gratidão:

À Professora Doutora Ana Velosa pela sua orientação e partilha de conhecimento, pelo seu incentivo, estímulo e constante acompanhamento ao longo da realização deste trabalho. De uma forma mais vincada quero agradecer a sua disponibilidade, o entusiasmo e amizade demonstrada.

À Investigadora Principal Rosário Veiga, pela sua co-orientação e à qual agradeço a disponibilidade e auxílio prestados no trabalho desenvolvido no LERevPa. Agradeço ainda as conversas relacionadas com o presente que proporcionaram diferentes perspectivas de analisar os problemas surgidos.

Aos restantes docentes do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro pela contribuição na formação de bons profissionais de Engenharia. Em especial, agradeço ao Professor Aníbal Costa pelo facto de ter feito despertar o meu interesse por esta área nas suas aulas e na forma de encarar a engenharia.

À engenheira Elsa Oliveira e Raul Barros, do laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro pela enorme ajuda prestada sempre que solicitados.

No Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, agradeço às Mestres Cristina Sequeira e à Denise Terroso, pelo auxílio prestado nos ensaios 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) por ter proporcionado meios e recursos para a execução deste trabalho dentro e fora do LNEC.

Aos técnicos de experimentação presentes no NRI pelo seu acompanhamento e importante contributo nos ensaios efectuados, pela boa disposição e excelente ambiente de trabalho que proporcionaram, Ana Maria Francisco, Bento Sabala e Luís Carmo. Um agradecimento muito especial para a técnica Dora Santos pela sua inquestionável entrega, pelas conversas, pelas dúvidas pertinentes colocadas, pelos almoços e acima de tudo pela amizade demonstrada.

À empresa cerâmica Condestável pelo fornecimento de metacaulino essencial para o desenvolvimento do trabalho.

À Câmara Municipal de Ovar, através do seu Atelier de Conservação e Restauro do Azulejo (ACRA) na pessoa da Mestre Isabel Moura por possibilitar o acesso às fachadas, por facultar documentos e informação muito importante para a evolução da dissertação, pelas conversas construtivas e pelos constantes incentivos. Ao técnico Gil do ACRA pela sua prontidão e profissionalismo. Em especial, agradeço ao funcionário camarário Manuel Oliveira pelo brio empregue, entrega profissional, auxílio prestado e conversas de ocasião.

Aos amigos da Universidade pelos bons momentos passados juntos na diversão, nas tertúlias e no estudo, com especial destaque para a Carla Valente pela amizade demonstrada.

Aos amigos Pedro Araújo, Gil Pereira, Ricardo Silva e Miguel Martins por estarmos sempre juntos e unidos ao longo destes anos e pelos seus constantes incentivos na execução desta dissertação.

Ao Jorge e Alice Espírito Santo e restante família, pelo incondicional apoio e motivação que me fizeram sentir ao longo desta minha caminhada. Obrigado pela vossa amizade e consideração.

À Sofia Espírito Santo, a minha namorada, um reconhecimento muito especial por partilhar, sem questionar, os meus desabafos, os problemas, as alegrias, os sonhos e planos. Pelos seus “Tu consegues!” e “Vai em Frente!”. Pelo seu fantástico incentivo, incondicional apoio e amor. A palavra Obrigado em nada reflecte o que significas para mim.

A toda a minha família com relevância para a minha avó Elvira Gomes, a minha madrinha Maria Quitéria e à minha Irmã Soraia Teixeira pelo apoio, incentivos e muita ajuda ao longo deste meu percurso.

Por fim, aos meus queridos Pais, Alfredo Teixeira e Marina Fernandes por todos os sacrifícios e mais alguns que fizeram e fazem por quererem dar um futuro a um filho. Pela sua teimosia e perseverança em não desistirem de lutar. Pelo seu incondicional amor. Sem vós não teria sido possível.

palavras-chave

Conservação de Fachadas, Reabilitação, Azulejo, Argamassas de Cal, Metacaulino, Comportamento Mecânico.

resumo

Sob a óptica da conservação e reabilitação, uma temática a todos os níveis premente em Portugal, o presente trabalho tem como base a conservação de fachadas azulejadas na cidade de Ovar.

A dissertação debruçou-se na recolha e caracterização mecânica, química e mineralógica das argamassas históricas das fachadas azulejadas. Englobou ainda a formulação de argamassas de cal aérea e metacaulino para utilização na aplicação de azulejos nas fachadas antigas. Estas foram sujeitas a um conjunto de ensaios mecânicos com o objectivo de as caracterizar e estudar a sua aplicabilidade.

Por último foram realizadas aplicações práticas em painéis, posteriormente ensaiados, nas fachadas que sofreram intervenções.

Desta forma pretendeu-se estudar a compatibilidade mecânica entre as argamassas antigas e as novas formulações, possibilitando o seu uso nas fachadas azulejadas de muitos edifícios na cidade de Ovar.

keywords

Facade Conservation, Rehabilitation, Glazed Tiles, Lime based Mortars, Metakaolin, Mechanical Behaviour.

abstract

Under the theme of conservation and rehabilitation, a delicate issue at all levels in Portugal, this work is focused on conservation of glazed tile facades in the city of Ovar.

The current study was based on the sampling of historical mortars for their mechanical, chemical and mineralogical characterization.

It also involved the formulation of compatible lime based mortars with pozzolanic additions for their use in the application of ancient glazed tile facades. In these, a series of mechanical tests were performed in order to characterize and to study their applicability.

Finally, in the facades that have suffered interventions, practical applications were made in panels, which were tested.

In this way, this work aims in to the study of the mechanical compatibility between ancient mortars and the new formulations, providing its use in the many historical buildings in the city of Ovar.

CONSERVAÇÃO DE FACHADAS AZULEJADAS EM OVAR: COMPORTAMENTO MECÂNICO.

Índice Geral

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	JUSTIFICAÇÃO	1
1.2	OBJECTIVO	2
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	2
2	REABILITAÇÃO DO PATRIMÓNIO EDIFICADO – CONTEXTUALIZAÇÃO	3
2.1	GENERALIDADES	3
2.2	ENQUADRAMENTO EUROPEU	3
2.3	REALIDADE DA REABILITAÇÃO EM PORTUGAL.....	5
2.3.1	Descrição da evolução do parque habitacional Português	5
2.3.2	Caracterização do mercado da reabilitação em Portugal	6
2.3.3	Incentivos à reabilitação	6
2.4	REABILITAÇÃO EM OVAR	8
3	AZULEJARIA DE FACHADA	9
3.1	GENERALIDADES	9
3.2	ENQUADRAMENTO HISTÓRICO	10
3.3	FÁBRICAS E PROCESSOS DE DECORAÇÃO	12
3.3.1	Fábricas em destaque	13
3.3.2	Técnicas de decoração	14
3.4	CARACTERIZAÇÃO DO AZULEJO DE FACHADA.....	15
3.4.1	Características gerais	15
3.4.2	Enquadramento normativo	15
3.4.3	Vantagens da aplicação do azulejo de fachada	17
3.4.4	Patologia mais comum do azulejo de fachada	17
3.5	AZULEJARIA EM OVAR.....	18
4	ARGAMASSAS DE REABILITAÇÃO PARA REVESTIMENTO DE FACHADAS	21
4.1	GENERALIDADES	21
4.2	BREVE RESUMO HISTÓRICO.....	22
4.3	TIPOS DE ARGAMASSA PARA REABILITAÇÃO DE FACHADAS	23
4.4	ARGAMASSAS DE CAL AÉREA ADITIVADAS.....	23
4.4.1	Características gerais	23

4.4.2	Constituintes e sua caracterização.....	24
4.4.3	Caracterização mecânica, física e química.....	25
4.4.4	Requisitos mecânicos para argamassas de revestimento.....	26
4.4.5	Casos de patologia frequentes em sistemas azulejo/argamassa.....	26
4.4.6	Enquadramento normativo.....	28
5	DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE ENSAIO.....	31
5.1	ENSAIOS AFECTOS ÀS ARGAMASSAS ANTIGAS.....	32
5.1.1	Difracção de raios-x (DRX).....	32
5.1.2	Análise termogravimétrica (ATG).....	32
5.1.3	Determinação do módulo de Elasticidade (E).....	33
5.1.4	Resistência à compressão.....	34
5.2	ENSAIOS AFECTOS ÀS NOVAS FORMULAÇÕES DE ARGAMASSAS.....	35
5.2.1	Ensaio realizado às matérias-primas.....	35
5.2.1.1	Massa volúmica aparente dos materiais.....	36
5.2.1.2	Análise granulométrica das areias.....	36
5.2.2	Determinação da massa volúmica.....	36
5.2.3	Determinação da consistência por espalhamento.....	37
5.2.4	Determinação do módulo de Elasticidade (E).....	38
5.2.5	Resistência à tracção por flexão.....	38
5.2.6	Resistência à compressão.....	39
5.2.7	Susceptibilidade à fendilhação.....	40
5.3	ADERÊNCIA POR TRACÇÃO.....	41
6	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS ANTIGAS.....	43
6.1	RECOLHA DE AMOSTRAS.....	43
6.2	TÉCNICA DE AMOSTRAGEM.....	43
6.3	CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	44
6.3.1	Identificação das amostras ensaiadas.....	44
6.3.2	Resultados.....	45
6.3.2.1	Difracção de raios x (DRX).....	45
6.3.2.2	Análise termogravimétrica (ATG).....	46
6.3.2.3	Módulo de Elasticidade (E).....	50
6.3.2.4	Resistência à compressão.....	53
7	COMPOSIÇÕES DESENVOLVIDAS.....	55
7.1	CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS.....	55
7.1.1	Análise granulométrica das areias.....	55
7.1.2	Massa volúmica das matérias-primas.....	56
7.2	FORMULAÇÕES ESTUDADAS.....	57
7.3	CARACTERIZAÇÃO DAS NOVAS COMPOSIÇÕES.....	58
7.3.1	Execução das argamassas.....	58

7.3.2	Argamassas frescas	61
7.3.2.1	Massa volúmica	61
7.3.2.2	Consistência por espalhamento	61
7.3.3	Argamassas endurecidas	62
7.3.3.1	Módulo de Elasticidade (E).....	62
7.3.3.2	Resistência à tracção por flexão.....	66
7.3.3.3	Resistência à compressão.....	67
7.3.3.4	Susceptibilidade à fendilhação	68
8	ENSAIOS “<i>IN SITU</i>”	69
8.1	EXECUÇÃO DOS PAINÉIS	69
8.2	RESULTADOS	70
9	ANÁLISE GLOBAL DE RESULTADOS.....	73
9.1	ANÁLISE DE RESULTADOS ÀS ARGAMASSAS ANTIGAS	73
9.2	ANÁLISE DE RESULTADOS DAS ARGAMASSAS DESENVOLVIDAS	76
9.3	COMPATIBILIZAÇÃO ENTRE AS ARGAMASSAS ANTIGAS E AS NOVAS COMPOSIÇÕES DE ARGAMASSA	77
10	CONCLUSÃO.....	81
10.1	CUMPRIMENTO DOS OBJECTIVOS.....	81
10.2	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	83
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

Índice de Figuras

Fig. 1 - Taxas de crescimento dos alojamentos construídos - enquadramento internacional.....	4
Fig. 2 - Taxa de crescimento dos alojamentos e de famílias em Portugal	5
Fig. 3 - Palácio do Marquês de Pombal, Casa de pesca, Oeiras, terceiro quartel do séc. XVIII (foto - Nicolas Lemonnier).....	9
Fig. 4 – Capela de São Filipe, Setúbal, Policarpo de Oliveira Bernandes, 1736;.....	10
Fig. 5 – Estação de S. Bento (Porto), Infante D. Henrique na conquista de Ceuta.....	10
Fig. 6 – S. Luís do Maranhão (Brasil)	11
Fig. 7 – Igreja Paroquial de Válega (séc. XVII).....	11
Fig. 8 – Fachada de edifício de habitação em Ovar (Portugal)	11
Fig. 9 – Painel exterior do tribunal de Ovar (Jorge Barradas, 1965)	12
Fig. 10 – Placa toponímia da Rua Marechal Zagalo (Ovar).....	12
Fig. 11 – Alminha na rua Dr. José Falcão (Ovar).....	12
Fig. 12 – Painel na estação de caminhos-de-ferro em Ovar	12
Fig. 13 - Cartel datado da fábrica de Santarém.....	13
Fig. 14 - Painel publicitário da Fábrica Fonte Nova, (Aveiro)	13
Fig. 15 - Fábrica das Devesas	14
Fig. 16 - Fábrica Fonte Nova (Aveiro), fabrico de 1902.....	15
Fig. 17 - Fábrica Devesas (Gaia), fabrico de 1866	15
Fig. 18 - Dimensão de um azulejo com a face vidrada em destaque.....	15
Fig. 19 - Tardoz e chacota de um azulejo.....	15
Fig. 20 – Caso de descolamento de parte de painel.....	17
Fig. 21 - Caso de Esmagamento entre azulejos	17
Fig. 22 - Caso de desgaste e riscagem	18
Fig. 23 - Fissuração e descamação do vidrado	18
Fig. 24 - Moradia unifamiliar (Ovar)	19
Fig. 25 - Máquina de ensaios para a determinação do.....	33
Fig. 26 - Determinação das dimensões das amostras de argamassas	33
Fig. 27 - Colocação da argamassa de confinamento.....	34
Fig. 28 - Amostra pronta para ensaiar	34
Fig. 29 – Argamassa antiga a ser ensaiada.....	35
Fig. 30 - Aparelho para a determinação experimental da massa volúmica aparente.....	36
Fig. 31 - Molde cónico com argamassa	37
Fig. 32 - Argamassa sem molde cónico.....	37
Fig. 33 - Medição do espalhamento.....	37
Fig. 34- Colocação do provete no equipamento de ensaio para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico	38
Fig. 35 - Prisma a ser ensaiado à flexão.....	39

Fig. 36 - Prisma a ser ensaiado à compressão.....	40
Fig. 37 - Ensaio de susceptibilidade à fendilhação	40
Fig. 38 - Fixação do dinamómetro à pastilha	41
Fig. 39 - Arrancamento da carote.....	41
Fig. 40 - Casa alvo de intervenção, Rua Camilo Castelo Branco, Ovar	43
Fig. 41 - Casa alvo de intervenção, Rua Dr. António Sobreira, Ovar	43
Fig. 42 - ATG Elias Garcia (Amostra 1)	46
Fig. 43 – ATG Elias Garcia (Amostra 3).....	47
Fig 44 - ATG Museu de Ovar (Amostra 4)	47
Fig. 45 - ATG Dr. António Sobreira (Amostra 1)	48
Fig. 46 - ATG Dr. António Sobreira (Amostra 4)	48
Fig. 47 - ATG Camilo Castelo Branco (Amostra 1).....	49
Fig. 48 - ATG Camilo Castelo Branco (Amostra 3).....	49
Fig. 49 - Módulo de Elasticidade pelo método dos ultra-sons (MPa) das amostras das argamassas antigas	51
Fig. 50 - Módulo de Elasticidade pelos ultra-sons (MPa) das argamassas dos edifícios alvo de estudo	52
Fig. 51 - Resistência à compressão (MPa) das amostras das argamassas antigas	53
Fig. 52 - Resistência à compressão (MPa) das argamassas dos edifícios alvo de estudo.....	54
Fig. 53 - Curvas granulométricas da areia de rio e do saibro	55
Fig. 54 - Curva granulométrica final (50% saibro, 50% areia de rio)	56
Fig. 55 - Areia a ser peneirada.....	58
Fig. 56 - Colocação de água na mistura	59
Fig. 57 - Homogeneização mecânica da argamassa.....	59
Fig. 59 - Limpeza da face interna da cuba	59
Fig. 59 - Execução dos prismas	60
Fig. 60 - Condicionamento dos provetes	60
Fig. 61 - Módulo de elasticidade por frequência de ressonância (E) aos 28 e 90 dias	63
Fig. 62 - Módulo de elasticidade (E) pelo método dos ultrasons com transdutores normais aos 28 e 90 dias	64
Fig. 63 - Módulo de elasticidade (E) pelo método dos ultrasons com transdutores exponenciais aos 28 e 90 dias	65
Fig. 64 - Resistência à flexão (Rf) das argamassas desenvolvidas aos 28 e 90 dias.....	66
Fig. 65 - Resistência à compressão (Rc) das argamassas desenvolvidas aos 28 e 90 dias.....	67
Fig. 66 - Zonas de recolha de amostras (vermelho e verde) e zona de execução de painel (verde)	69
Fig. 67 - Execução de um painel.....	70
Fig. 68 - Painel com argamassa CRM	70
Fig. 69 - Painel final com as duas argamassas	70

Fig. 70 - Caracterização mecânica das argamassas	74
Fig. 71 - Caracterização mecânica das argamassas dos edifícios.....	75

Índice de Tabelas

Tab. 1 - Normas relativas às características exigidas para revestimentos cerâmicos	16
Tab. 2 - Características de aplicação referentes a argamassas frescas e características finais referentes a argamassas endurecidas	29
Tab. 3 – Sintomas e causas de diversas anomalias em revestimentos cerâmicos.....	27
Tab. 4 - Ensaio executados nas argamassas	31
Tab. 5 - Quantificação das amostras ensaiadas em função do edifício alvo de estudo.....	44
Tab. 6 - Análise DRX às amostras de argamassa recolhidas dos diversos edifícios.....	45
Tab. 7 - % de Calcite das argamassas antigas.....	50
Tab. 8 - Módulo de Elasticidade pelo método dos ultra-sons (MPa) das amostras das argamassas	51
Tab. 9 - Módulo de Elasticidade pelos ultra-sons (MPa) das argamassas dos edifícios alvo de estudo	52
Tab. 10 - Resistência à compressão (MPa) das amostras das argamassas antigas.....	53
Tab. 11 - Resistência à compressão (MPa) das argamassas dos edifícios alvo de estudo.....	54
Tab. 12 - Quadro síntese com a constituição qualitativa das composições desenvolvidas	57
Tab. 13 – Relação ponderal de água sobre quantidade de ligante para cada argamassa	57
Tab. 14 - Massa volúmica aparente das matérias-primas	56
Tab. 15 - Massa volúmica das argamassas.....	61
Tab. 16 - Espalhamento (mm) das diversas argamassas	61
Tab. 17 - Módulo de elasticidade (E) dinâmico aos 28 e 90 dias	62
Tab. 18 - Módulo de elasticidade (E) pelo método dos ultrasons com transdutores normais aos 28 e 90 dias	63
Tab. 19 - Módulo de elasticidade (E) pelo método dos ultrasons com transdutores exponenciais aos 28 e 90 dias	64
Tab. 20 - Resistência à flexão (Rf) das argamassas desenvolvidas aos 28 e 90 dias.....	66
Tab. 21 - Resistência à compressão (Rc) das argamassas desenvolvidas aos 28 e 90 dias.....	67
Tab. 22 - Coeficiente de resistência à evolução da fendilhação (CREF), coeficiente de segurança à abertura da 1ª fenda (CSAF).....	68
Tab. 23 - Forças de arranque necessárias à extracção de revestimento.....	70
Tab. 24 - Caracterização mecânica das argamassas antigas	73
Tab. 25 - Caracterização mecânica dos edifícios	74
Tab. 26 - Características determinadas nas composições desenvolvidas	76
Tab. 27 - Relação compressão/flexão (Rc/Rf).....	77
Tab. 28 - Comportamento mecânico das argamassas antigas e das novas formulações de argamassa	78

Índice de Expressões

Eq. 1 - Fórmulas para a determinação do módulo de elasticidade.....	34
Eq. 2 - Resistência à compressão (MPa).....	35
Eq. 3 - Expressão para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico	38
Eq. 4 - Expressão para a determinação da resistência à flexão.....	39
Eq. 5 - Expressões para a determinação dos coeficientes de resistência à evolução da fendilhação (CREF) e do coeficiente de segurança à abertura da 1ª fenda (CSAF)	41

1 Introdução

1.1 Justificação

O território português ao longo da sua história conheceu várias culturas, vários saberes e várias tradições fruto das diversas ocupações de que foi alvo, desde os celtiberos, passando pelo povo romano, os germanos, os árabes até aos visigodos.

Mais tarde, Portugal, por meio dos descobrimentos “exportou” e “importou” novas formas de pensar, de conhecimento e de cultura.

Assim, o nosso país ao longo da sua multifacetada história foi guardando um vasto espólio, muito dele, de valor incalculável. O património edificado constitui uma parte muito importante do todo, sendo mesmo um dos cartões de visita a Portugal.

Neste contexto, a herança do revestimento de azulejaria de fachada é uma mais valia que deve ser respeitada e merece ser conservada pois marcou uma época do país.

Actualmente, muito deste edificado encontra-se degradado e deixado ao abandono devido, em parte ao comodismo que assolou o nosso país e que virou a economia para a construção nova.

Um outro ponto de bastante interesse para a conservação e reabilitação de fachadas azulejares é o estudo das argamassas que servem de suporte ao azulejo. Estas argamassas são normalmente argamassas de cal, material de comportamento bastante diferente do sobejamente conhecido e utilizado cimento.

A durabilidade destas argamassas e o seu estado de conservação até aos dias correntes é, em muitos casos, verdadeiramente notável.

Assim sendo, o aprofundar e alicerçar conhecimento neste tipo de argamassas é de extrema relevância nesta área de conservação e reabilitação.

1.2 Objectivo

O presente trabalho tem como primeiro propósito constituir uma base sólida de apoio à conservação e reabilitação de fachadas azulejadas na cidade de Ovar. Para tal, o seu estudo estará vocacionado para as argamassas de revestimento aí presentes, visando primordialmente a sistematização e conhecimento das suas propriedades mecânicas.

Adicionalmente, irá ser feita a discriminação dos diversos materiais que compõem as argamassas e suas proporções de modo a determinar a influência dos mesmos no desempenho das argamassas de cal em estudo.

É também aspiração deste trabalho a elaboração de argamassas de cal compatíveis, cujas características serão ensaiadas, de modo a poderem ser uma solução eficaz no tratamento e reabilitação de fachadas azulejadas da cidade.

Pretende-se ainda a execução de aplicações práticas sob a forma de painéis nos edifícios alvo de estudo com vista à monitorização do seu comportamento.

É ainda propósito deste trabalho a avaliação da exequibilidade de diferentes ensaios para a determinação do Módulo de Elasticidade e da exactidão dos valores obtidos

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação está dividida em 10 capítulos, estando, o capítulo 1 destinado à introdução.

O estado da arte irá estar compreendido em três capítulos. Assim sendo, o capítulo 2, irá incidir sobre as temáticas da reabilitação, o capítulo 3 dirá respeito ao património azulejar e o capítulo 4 focará as argamassas de reabilitação com especial ênfase para as argamassas de cal aérea.

O estudo experimental irá estar compreendido entre os capítulos 5 e 10. O capítulo 5 envolverá a definição de todos os procedimentos seguidos para a realização de todos os ensaios realizados inerentes a esta dissertação. Os capítulos 6 e 7 dirão respeito, respectivamente, à caracterização das argamassas antigas e às novas formulações de acordo com os ensaios efectuados. Os ensaios “*in situ*” e respectivos resultados integrarão o capítulo 8. A análise global de resultados de todos os ensaios efectuados fará parte do capítulo 9.

Por fim, as conclusões gerais e desenvolvimentos futuros serão expostos no capítulo 10.

2 Reabilitação do património edificado – Contextualização

2.1 Generalidades

Ao longo dos últimos anos a temática da reabilitação do património edificado tem vindo a ser discutido e estudado quer pela necessidade de reabilitar e conservar o património de elevado interesse histórico, quer pelo facto de, cada vez mais, ser uma alternativa à construção massiva e, em muitos casos, ao combate à desertificação do centro das cidades.

Embora este assunto esteja na ordem do dia, a preocupação pela reabilitação já se verifica desde o final do século XIX, altura da emissão do Manifesto de William Morris em 1877. Desde então ocorreram diversos encontros, aprovados sob a forma de cartas e documentos, nos quais foram estabelecidas recomendações e várias metodologias de análise à temática da reabilitação. Cada carta surgiu com o intuito de melhorar a anterior, sendo a carta de Veneza (1964) a grande precursora deste movimento.

Dentro do contexto do tema é importante definir convenientemente alguns dos termos mais frequentemente usados[1]:

- **Conservação:** Operações que mantêm a construção tal como ela é hoje, ainda que intervenções limitadas sejam aceites para melhorar os níveis de segurança.
- **Manutenção:** Um conjunto de actividades tendo em vista a conservação de um bem.
- **Reabilitação:** Processo para adaptar uma construção a um novo uso ou função, sem alterar as partes da construção que são significativas para o seu valor histórico.
- **Restauro:** Processo de recuperar a forma de uma construção de acordo com a imagem de determinado período de tempo com recurso à remoção de trabalhos adicionais ou substituição de trabalhos posteriores em falta.

O presente capítulo irá ainda incidir no enquadramento europeu do mercado da reabilitação.

A realidade portuguesa também será focada, onde se fará uma breve caracterização da evolução do parque habitacional ao longo dos últimos anos. Far-se-á ainda um enquadramento do mercado da reabilitação e uma referência aos diversos quadros legais de incentivos à reabilitação.

Por último será feita uma referência específica, no âmbito da reabilitação, à cidade de Ovar.

2.2 Enquadramento Europeu

Segundo um estudo realizado pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) o panorama europeu da área de reabilitação é já bastante consistente. Em termos percentuais, a área da reabilitação, ultrapassa os 20% do total do sector da construção.

Ao comparar-se as taxas de crescimentos dos alojamentos construídos de diversos países constata-se claramente que a sua tendência é de uma clara diminuição [2].

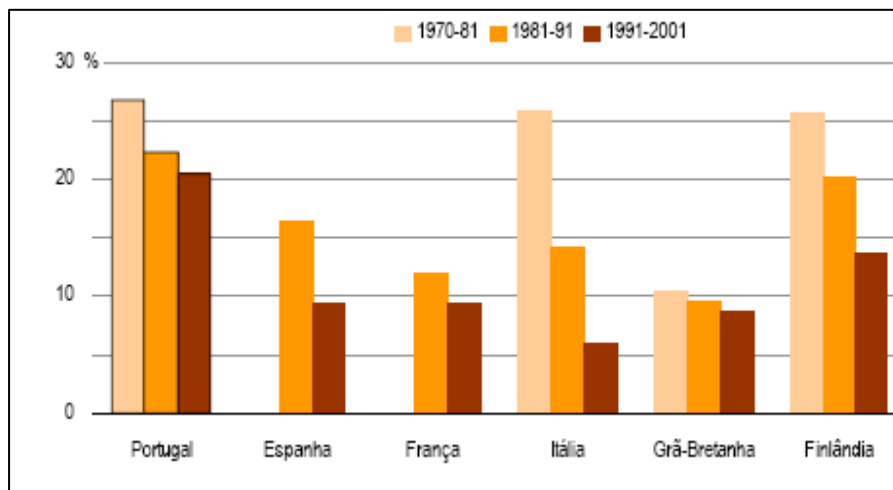


Fig. 1 - Taxas de crescimento dos alojamentos construídos - enquadramento internacional

O declínio da taxa de crescimento de habitação nova reflecte uma das causas da forte expansão europeia da reabilitação.

Para além disso, a maioria dos países europeus vê-se confrontado com o facto de que o seu parque habitacional, essencialmente construído no tempo do pós-guerra, se encontra neste momento no seu término de vida útil (40/50 anos), necessitando de obras de reabilitação ou manutenção.

Tem-se ainda que em diversos países europeus uma das principais causas do aumento da reabilitação é a boa eficiência das parcerias público-privadas pois possibilitam rápidos meios de financiamento e resolução célere de questões legais para obras de reabilitação.

2.3 Realidade da Reabilitação em Portugal

2.3.1 Descrição da evolução do parque habitacional Português

Portugal nos últimos 30 anos tem tido um forte crescimento do número de alojamentos construídos sempre acima dos 20%. Embora esses números tendam a diminuir (Fig. 2), a verdade é que quando comparado com os seus congéneres europeus, o ritmo de redução da taxa de crescimento é mais lento conforme se verifica pela análise da Fig. 1.

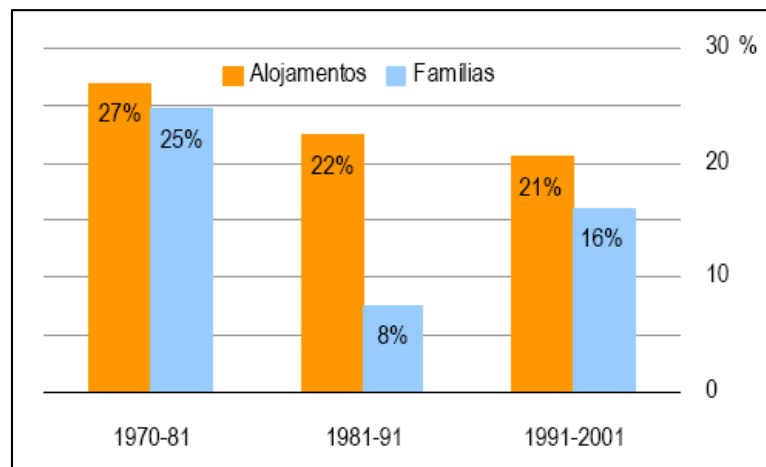


Fig. 2 - Taxa de crescimento dos alojamentos e de famílias em Portugal [2]

Segundo os Censos de 2001 aproximadamente 60% dos edifícios foram construídos após 1970, cerca de 19% na última década e igual percentagem antes de 1945. De registar que a França, e comparando com Portugal, tem apenas 10% de edifícios construídos na última década.

Estes números podem ser explicados devido à forte emigração registada em Portugal durante a década de 60 e 70.

Tendo em conta o mesmo estudo [2] regista-se o facto de Portugal apresentar um excesso habitacional em termos quantitativos pois o número de alojamentos vagos disponíveis em 2001 era de 185509 e o volume total de carências habitacionais era de 176811.

No que toca às carências qualitativas a tendência é já outra, pois dos edifícios recenseados em 2001, 3% dos alojamentos (144183) apresentam-se num estado de degradação bastante elevado.

Assim, constata-se que Portugal começa a ter verdadeira necessidade de tomar atenção à degradação do seu parque habitacional tendo que fazer uma clara aposta no sector da reabilitação em detrimento da construção nova.

2.3.2 Caracterização do mercado da reabilitação em Portugal

O panorama do estado de degradação do edificado no país regista actualmente alguns números preocupantes. Segundo um estudo [3] conduzido pelo INE, 38% dos edifícios existentes em Portugal necessitam de reparação, dos quais 13.6% necessitam de grandes obras de reparação. O estudo diz ainda que aproximadamente 2.9% dos edifícios se encontram muito degradados.

Os dados dizem ainda que há uma relação forte entre a idade dos edifícios e o seu estado de conservação, ou seja, à medida que a época de construção é mais recente as necessidades de reparação diminuem. No entanto é de registar que cerca de 1489 edifícios construídos entre 1991 e 2001 já se encontram muito degradados o que não deixa de ser assustador. Particularizando para as paredes e caixilharias exteriores, aproximadamente 47.1% dos edifícios apresentam necessidades de reparação, das quais 3.9% precisam de reparações muito grandes.

No que diz respeito ao revestimento exterior, apenas em 4.5% dos edifícios existentes em Portugal são usados ladrilhos ou pastilhas cerâmicas.

Apesar de há muito tempo se saber o estado de degradação do edificado português, só em 1999 foi assumido que os trabalhos de reabilitação e manutenção devem ser considerados como um eixo prioritário dentro do sector e nas políticas públicas [1].

Segundo dados do RECRIA actualmente o mercado da reabilitação está avaliado num potencial de 88.4 biliões de euros, mais de 300% face aos dados de 1995.

No entanto, o mercado tarda em descolar, talvez devido ao facto de uma conjugação de factores:

- As medidas públicas assumidas são escassas;
- As empresas tendem a abordar a construção nova e a reabilitação da mesma forma, quando a reabilitação exige um outro tipo de conhecimento técnico-científico que a construção nova não [4].
- A mão-de-obra especializada é ainda parca ou inexistente em algumas empresas que “praticam” a reabilitação;
- A multiplicidade das entidades envolvidas no processo de reparação.

2.3.3 Incentivos à reabilitação

Ao longo dos últimos em Portugal começaram a surgir diversos quadros legais de incentivo à execução de trabalhos de reabilitação sob a forma de programas [5, 6], assim como diversas recomendações para o mercado, nomeadamente no Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU).

No que diz respeito ao estrito domínio do financiamento da reabilitação de edifícios os programas mais utilizados são:

- RECRIA (Regime Especial de Participação na Recuperação de Imóveis Arrendados) e suas extensões RECRIPH (Regime Especial de Participação e Financiamento na Recuperação de Prédios Urbanos em Regime de Propriedade Horizontal), SOLARH, REHABITA (Regime de Apoio à Recuperação Habitacional em Áreas Urbanas Antigas)
- PRID (Programa de Recuperação de Imóveis degradados), este último destinado à região autónoma da Madeira.

Estes programas funcionam sob o regime de financiamentos e empréstimos concedidos a quem a eles recorre.

No entanto, o número de pedidos de intervenção através dos mesmos não tem sido muito significativo. A título de exemplo [6], no Porto entre 1994 e 2004 ocorreram 331 intervenções fruto dos programas participadas pelo Estado, ou seja, cerca de 1.1% dos edifícios totais da zona a necessitar de intervenção.

Relativamente às áreas urbanas degradadas, os programas mais eficazes e existentes são:

- PRAUD (Programa de Recuperação de Áreas Urbanas Degradadas), visando o financiamento via autarquias para a requalificação urbana,
- Programa PROHABITA mais focalizado para o realojamento
- Programa POLIS, cujo objectivo é a requalificação urbana e ambiental.

Muito recentemente surgiram em diversos municípios as Sociedades de Reabilitação Urbana (SRU), baseadas no incentivo à acção dos promotores privados, sendo a Administração Central um agente que visa facilitar o processo de reabilitação urbana desencadeado pelas SRU.

Assim constata-se que em Portugal existe um leque relativamente alargado de opções que incentivam à reabilitação. No entanto verifica-se ainda que o número de pedidos de intervenção tem vindo a decair ano após ano, particularmente após a entrada em vigor da nova lei das Rendas (2005), segundo o INH o número de intervenções oriundas dos quadros de incentivo registaram uma queda de 387 em 2005 para 256 até 31 de Agosto de 2007.

A variedade de programas é intimamente ligada a dificuldades de organização institucional devido às diferentes tipos de competências necessárias ao bom funcionamento dos programas. Contudo está previsto que o RECRIA, o REHABITA, o RECRIPH e o SOLARH sejam condensados num só programa, o PROREABILITA de modo a facilitar os procedimentos e motivar os proprietários a reabilitarem as suas habitações [5].

2.4 Reabilitação em Ovar

A cidade de Ovar, a par de outras cidades portuguesas, tem vindo a sofrer do fenómeno da desertificação do seu centro histórico. Este problema preocupa a sua população, entidades privadas e públicas da região.

Ovar tem neste momento edifícios degradados, quer por falta de manutenção, quer por falta de disponibilidade financeira. Muitos desses edifícios são parte integrante do seu invejável património azulejar.

O fenómeno da desertificação é também um dos causadores da degradação crescente que leva, por exemplo, a pessoas com mais do que uma residência, optarem por abandonar a residência situada no centro histórico ou pessoas que procuram a 1ª casa preferirem uma casa nova fora da cidade ao invés de uma casa antiga no centro histórico.

A reabilitação surge de uma forma natural com o objectivo de reabilitar o património em degradação e também como uma arma no combate à desertificação. Tem sido executada através do Atelier de Conservação e Restauro do Azulejo (ACRA), entidade gerida pelo município.

A Câmara tem ainda em funcionamento os programas SOLARH, RECRIA (descritos anteriormente) e o Programa de Conservação Reparação ou Beneficiação de Habitações Degradadas de Pessoas Carenciadas do Município de Ovar.

3 Azulejaria de Fachada

3.1 Generalidades

O Azulejo é um património intrínseco à cultura portuguesa desde há séculos, quer sob a forma de azulejo de interior quer de exterior [7]. Embora a azulejaria de exterior em Portugal tenha já alguns séculos de existência, nomeadamente desde o século XVI, só a partir do século XIX tomou expressão nacional. Desde dessa data até à actualidade a azulejaria de fachada atravessou uma clara evolução passando criativamente por diversas correntes artísticas [8] como o Rocóco (Fig. 3) e o período Neoclássico.



Fig. 3 - Palácio do Marquês de Pombal, Casa de pesca, Oeiras, terceiro quartel do séc. XVIII (foto - Nicolas Lemonnier) [7]

Pode dizer-se que serve duas grandes finalidades: a Estética e a Funcionalidade. Os azulejos vão desde policromáticos até aos monocromáticos (azuis e brancos), estes últimos com influências orientais [8].

Um outro país cuja tradição de azulejaria de exterior é muito vincada é o Brasil sobretudo a partir das trocas comerciais iniciadas com Portugal na época dos descobrimentos [8].

Ao longo deste processo evolutivo do azulejo de fachada foram proliferando ao longo do século XIX muitas fábricas que se destinaram ao seu fabrico, algumas delas criando um estilo e metodologia próprias [9].

Nos restantes pontos do capítulo ir-se-á dar enfoque a um enquadramento histórico, focalizando Portugal e Brasil. Dar-se-á relevo às fábricas de azulejo de fachada e as técnicas de decoração mais usadas. Proceder-se-á ainda à caracterização genérica do azulejo de fachada, assim como o seu enquadramento normativo e quais os seus casos de patologia mais frequentes.

E por fim, será feito um enquadramento geral do património azulejar em Ovar.

3.2 Enquadramento histórico

A origem do azulejo em Portugal remonta à época da ocupação islâmica na península Ibérica (séc. VIII). Assim, o termo, hoje vulgarmente conhecido, “azulejo” deriva de uma palavra árabe (*al zulej* ou *az-zulaich*) que significa pedra lisa e polida [10]. Esta tendência espalhou-se, então, pelos restantes países do mediterrâneo e por fim pelo resto da Europa.

A partir do século XVI graças a uma transformação técnica é que o azulejo assumiu os contornos pelos quais é conhecido hoje, uma placa de barro de forma quadrada com uma face vidrada.

No entanto os Portugueses utilizaram o azulejo durante quatro séculos quase exclusivamente para revestimentos interiores, quer de igrejas e palácios quer de conventos [8]. Assim, até finais do séc. XVIII a produção de azulejo em Portugal era essencialmente para interiores (Fig. 4 e Fig. 5).



Fig. 4 – Capela de São Filipe, Setúbal, Policarpo de Oliveira Bernardes, 1736; (Foto Nicolas Lemonnier) [7]



Fig. 5 – Estação de S. Bento (Porto), Infante D. Henrique na conquista de Ceuta

Já em pleno séc. XIX esta assimetria entre azulejaria de interior e exterior começou a desvanecer [8], isto é, a azulejaria de fachada começou a ganhar uma preponderância significativa face à azulejaria de interior (Fig. 7). Esta viragem poder-se-á dever ao facto de, em plena época de descobrimentos (séc: XVI) os “empresários” portugueses levarem para o Brasil azulejos (entre outras coisas) como “moeda de troca” para trazerem café, ouro e açúcar. A cultura brasileira rapidamente assimilou esta novidade e é lá que a azulejaria de fachada toma forma [8]. Numa fase inicial foram apenas usados azulejos brancos nas fachadas das igrejas e posteriormente em prédios urbanos já com um padrão policromático (Fig. 6).



Fig. 6 – S. Luís do Maranhão (Brasil) [11]



Fig. 7 – Igreja Paroquial de Válega (séc. XVII) [12]

Conseqüentemente, os portugueses que regressaram a Portugal oriundos do Brasil, os denominados “brasileiros” trouxeram a prática e tendência da azulejaria de fachada [10, 15] (Fig. 8).



Fig. 8 – Fachada de edifício de habitação em Ovar (Portugal)

A azulejaria de exterior em Portugal está compreendida desde fontanários, azulejos semi-industriais, fachadas especiais [8] (atribuídas a um determinado autor) (Fig. 9), Cartelas datadas, letreiros publicitários, placas toponímias (Fig. 10), cruzes e alminhas (Fig. 11) igrejas, estações de comboio (Fig. 12), Arte Nova e azulejaria Moderna.

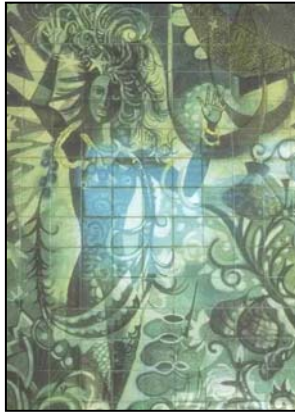


Fig. 9 – Painel exterior do tribunal de Ovar (Jorge Barradas, 1965)



Fig. 10 – Placa toponímia da Rua Marechal Zagalo (Ovar)



Fig. 11 – Alminha na rua Dr. José Falcão (Ovar)



Fig. 12 – Painel na estação de caminhos-de-ferro em Ovar

Em Portugal o património azulejar representa um papel muito importante na cultura dos portugueses e chega mesmo a definir algumas zonas geográficas do nosso país.

3.3 Fábricas e processos de decoração

No decorrer do século XIX, em muito devido ao “boom” da azulejaria de fachada em Portugal devido ao tratado de comércio com o Brasil [8], uma série de fábricas surgiram no fabrico do azulejo. De todas elas, as que mais se destacam são [13, 9]:

- A Real Fábrica de Louça em Sacavém (1850), (Fig. 13)
- A Fábrica de Louça do Desterro (1889)
- A Fábrica Constância (1836)

- A Cerâmica Lusitana
- A Fábrica Viúva Lamego (1849)
- Fábrica de Louça de Faianças Artísticas das Caldas da Rainha
- Fábrica da Fonte Nova (Aveiro, 1882) (Fig. 14)
- Fábrica do Carvalhinho (Porto, 182? - 1878)
- Fábrica do Cavaco (Gaia, séc. XVIII)
- Fábrica das Devesas (Gaia, 1865)



Fig. 13 - Cartel datado da fábrica de Santarém



Fig. 14 - Painel publicitário da Fábrica Fonte Nova, (Aveiro) [14]

O fabrico do azulejo engloba uma mescla de matérias-primas de natureza argilosa, tais como a argila, o caulino e fundentes, a areia e o feldspato. O acabamento do tipo vidrado é obtido com o recurso vidros e corantes [16].

3.3.1 Fábricas em destaque

Da enumeração acima devem ser destacadas, para o âmbito desta dissertação, essencialmente as fábricas da Fonte Nova, a Fábrica do Carvalhinho e a Fábrica das Devesas.

A fábrica da Fonte Nova (Fig. 14) foi a principal criadora de azulejos para algumas cidades do Norte do País, principalmente do distrito de Aveiro. Esta fábrica criou um estilo único e inconfundível devido ao género de azulejo que produziu onde predomina a cor rosa, o verde, o roxo e o azul [9].

A fábrica do Carvalhinho tinha como principal pergaminho a produção de faiança¹ pintada à mão começou a produção em série de azulejos de padrão decorativos [9] recorrendo à estampagem mecânica [15]. Normalmente apresentavam temáticas florais simples e eram azulejos facilmente reconhecíveis pela marca do tardo [10].

Por último a fábrica das Devesas (Fig. 15) teve uma influência significativa na corrente da Arte Nova. No que concerne à produção dos seus azulejos, estes eram pintados recorrendo à técnica da estampilha [15].



Fig. 15 - Fábrica das Devesas [11]

3.3.2 Técnicas de decoração

As fábricas acima descritas apresentavam diversas técnicas de decoração, normalmente comuns entre elas, de produção de azulejo, nomeadamente:

- A técnica da estampilha que consistia essencialmente na aplicação sobre o azulejo, já com o vitrado branco, de uma estampilha com os recortes correspondentes aos desenhos, sobre a qual passava uma trincha com a cor respectiva. Para cada cor era necessária uma estampilha [15]. Através desta técnica era possível produzir azulejos policromáticos de cores intensas e com contornos bem definidos [8].
- A técnica da estampagem (ou decalcomania) oriunda de Inglaterra e de uso quase exclusivo das fábricas de Sacavém e do Desterro [13, 8]. Esta técnica consistia essencialmente na prensagem, de forma, mecânica de uma estampaⁱⁱ de papel numa das faces do azulejo, em cima do qual era aplicado um revestimento de vitrado transparente deixando transparecer a estampa colocada [15]. Os azulejos oriundos desta técnica eram essencialmente monocromáticos [8].
- Uma outra técnica existente consistia essencialmente na produção de azulejos de meio-relevo nos quais o desenho era marcado na chacota [10] através de moldes de madeira, gesso ou metal [15]. Os azulejos produzidos por esta técnica podiam ser mono ou policromáticos [8].

Uma particularidade no fabrico do azulejo era o facto de todos eles terem uma marca no seu tardoz. Estas marcas eram um modo de perceber qual a empresa que fabricou determinado azulejo e em que ano o fez (Fig. 16, Fig. 17).

ⁱ Louça de barro, vitrada ou esmaltada e pintada

ⁱⁱ Imagem impressa por meio de chapa gravada



Fig. 16 - Fábrika Fonte Nova (Aveiro), fabrico de 1902



Fig. 17 - Fábrika Devesas (Gaia), fabrico de 1866

3.4 Caracterização do azulejo de fachada

3.4.1 Características gerais

Os azulejos são constituídos por tardo (Fig. 19), a chacota e por uma superfície vidrada [8] (Fig. 18). O tardo é definido como sendo a face não vidrada do azulejo e por seu turno a chacota pode definir-se como sendo a placa de barro cozido sobre a qual é aplicada o vidrado [10].

São materiais incombustíveis e não afectados pela luz [16]. Normalmente assumem uma forma quadrada e tomam dimensões entre os 13 aos 16cm, consoante a época de fabrico [15] (Fig. 18).



Fig. 18 - Dimensão de um azulejo com a face vidrada em destaque



Fig. 19 - Tardo e chacota de um azulejo

3.4.2 Enquadramento normativo

De acordo com a norma europeia EN 14411 – Ceramic tiles – Definitions, classification, characteristics and marking: 2003 [17] os ladrilhos cerâmicos são seriados em grupos de produtos:

- Segundo o respectivo processo de conformação (por extrusão, por prensagem a seco e outros) [16]
- Segundo o seu coeficiente de absorção de água (E) [16]

No que concerne à utilização, estes, terão de obedecer a características específicas.

Para exteriores estes têm de obedecer a [16]:

- Resistência ao gelo-degelo
- Resistência ao impacto
- Dilatação térmica linear

No que toca às características para ladrilhos vidrados [16]:

- Resistência à fendilhação

No que diz respeito aos ensaios a serem executados a norma EN 14411 [17] encaminha para as normas de ensaio de série EN ISO 10545 a determinação dos seguintes conjuntos de características [16]:

- Dimensionais
- Propriedades físicas
- Propriedades químicas

Em seguida na Tab. 1 sintetiza-se as normas aplicáveis à determinação das diversas características.

Tab. 1 - Normas relativas às características exigidas para revestimentos cerâmicos

Características		Norma de ensaio
Dimensões e qualidade superficial	Comprimento e largura	ISO 10145-2
	Espessura	
	Rectinilidade das arestas	
	Planaridade (curvatura e empeno)	
	Qualidade superficial	
Propriedades físicas	Absorção de água	ISO 10145-3
	Resistência à flexão	ISO 10145 -4
	Módulo de rotura	
	Dilatação térmica linear	ISO 10145-8
	Resistência ao choque térmico	ISO 10145-9
	Resistência à fendilhação	ISO 10145-11
	Resistência ao gelo	ISO 10145-12
	Expansão por humidade	ISO 10145-10
	Pequenas diferenças de cor	ISO 10145-16
Propriedades químicas	Resistência às manchas	ISO 10145-14
	Resistência a ácidos e bases em baixas concentrações	ISO 10145-13
	Resistência a ácidos e bases em altas concentrações	ISO 10145-13
	Resistência aos produtos químicos e aditivos para água de piscinas	ISO 10145-13

3.4.3 Vantagens da aplicação do azulejo de fachada

O azulejo de fachada apresenta diversas vantagens na sua aplicação inerentes às suas características. De realçar:

- O baixo preço, quer na sua aplicação quer na substituição [18].
- A elevada durabilidade [18].
- Boa protecção à água [18].
- Boa resistência ao ataque de agentes químicos [18].
- Boa facilidade de limpeza, ou seja, apresenta uma boa resistência às manchas [18].
- Baixa expansão térmica [18].
- Enriquecimento das fachadas graças ao cromatismo e a animação das superfícies [8].

3.4.4 Patologia mais comum do azulejo de fachada

O azulejo de fachada apresenta diversos casos de patologia. Estes têm vindo a ser estudados e compreendidos de forma a alargar o conhecimento do azulejo.

O deficiente ou inexistente estudo acerca do funcionamento do conjunto revestimento-suporte ou das acções intrínsecas ao uso levam à ocorrência de diversas anomalias.

Assim, as anomalias podem ser separadas em dois grandes grupos seguidamente expostos:

1. Anomalias que originam a rotura do sistema de revestimento:
 - Descolamento/Desprendimento [19,20, 8] (Fig. 20)
 - Fendilhação [19]
 - Esmagamento ou lascagem dos bordos dos ladrilhos [19] (Fig. 21)



Fig. 20 – Caso de descolamento de parte de painel

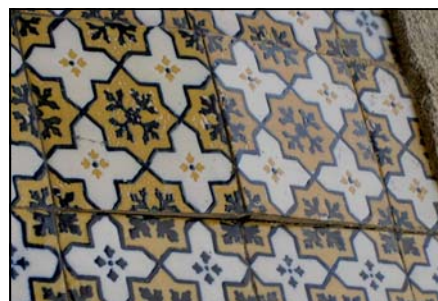


Fig. 21 - Caso de Esmagamento entre azulejos

2. Anomalias que se manifestam à superfície do sistema

- Descamação [19]
- Desgaste ou riscagem [19] (Fig. 22)
- Enodoamento Irreversível [19]
- Alteração da cor ou do brilho [19]
- Eflorescências [19]
- Deficiência de planeza [19]
- Fissuração ou descamação do vidrado [19, 20] (Fig. 23)



Fig. 22 - Caso de desgaste e riscagem



Fig. 23 - Fissuração e descamação do vidrado

3.5 Azulejaria em Ovar

Ovar é, talvez, a cidade do norte de Portugal cuja tradição de azulejaria de fachada é mais vincada. O património azulejar da cidade faz parte do quotidiano dos seus habitantes e já é parte integrante da sua cultura.

Aliás, Ovar é carinhosamente apelidada da cidade-museu do azulejo. Ao percorrer as ruas da cidade é facilmente perceptível o vasto património de azulejo de fachada, onde grande parte das habitações é uma verdadeira obra de arte com o seu revestimento em azulejo (Fig. 24).



Fig. 24 - Moradia unifamiliar (Ovar)

Esta tradição começou no séc. XIX, assim como um pouco por todo o país conforme descrito em 3.2.

Para além do azulejo de fachada, algumas habitações e monumentos da cidade são embelezadas com diversas peças de faiança¹ [15].

Grande parte dos azulejos da cidade foram produzidos nas fábricas do Carvalhinho e das Devesas [15].

As técnicas usadas na sua decoração foram já descritas em 3.3.2, sendo elas a técnica da estampilha, a técnica da estampagem e a técnica de produção de azulejos meio-relevo. Normalmente, os azulejos de Ovar assumem uma dimensão 14 x 14 (cm).

O azulejo de fachada apresenta-se, actualmente, como uma excelente alternativa a muitos revestimentos de fachada correntemente utilizados.

4 Argamassas de reabilitação para revestimento de fachadas

4.1 Generalidades

A argamassa, como material de construção, é constituída por água, agregados (normalmente é utilizada areia ou pedra britada), ligantes (aéreos, hidráulicos ou sintéticos), aditivos (pozolanas, fibras, resinas) e adjuvantes (hidrófugos por exemplo) [21] e normalmente assume as seguintes funções [21]:

- Aglomerante
- Material de Assentamento
- Reboco exterior e interior
- Acabamento
- Suporte de pinturas
- Colagem de azulejos

Aquando de uma intervenção numa fachada de um edifício antigo há que considerar em primeiro lugar a conservação dos revestimentos existentes. Só em último caso se deve substituir, quer totalmente quer parcialmente a argamassa existente [22]. As argamassas a usar na reabilitação de fachadas devem ser estudadas caso a caso (época de construção e tipo de edifício, clima) e devem obedecer a requisitos estéticos e funcionais [22, 23].

Numa operação de conservação em que deva ocorrer substituição da argamassa existente há que respeitar o seguinte [24]:

- Assegurar a compatibilidade, mecânica, física, química e estética com os materiais presentes.
- As características funcionais das argamassas já existentes devem ser reproduzidas o mais fielmente possível.
- Reproduzir, a composição das argamassas preexistentes (constituintes e tipo de argamassa), principalmente nos casos de preenchimento de lacunas ou em monumentos históricos.

As argamassas que até ao momento se assemelham mais às argamassas antigas são as de cal aérea apesar do, ainda, pouco eficaz domínio da sua tecnologia [22].

Apesar de tudo, têm sido dados passos firmes e seguros rumo a um conhecimento mais vasto dentro da comunidade científica. No entanto, é ainda muito comum em Portugal, em obras correntes de edifícios antigos a remoção total dos revestimentos existentes ocorrendo a substituição por novos, muitas vezes com piores características de compatibilidade e durabilidade a longo prazo [25].

Neste capítulo irá incidir-se num enquadramento histórico da argamassa. Será feita uma enumeração expedita dos diferentes tipos de argamassa usados na reabilitação de fachadas. Dar-

se-á especial relevo à argamassa de cal aérea, na qual recai o presente estudo. Serão abordadas as exigências físicas, mecânicas e químicas a definir e far-se-á uma descrição ténue dos seus constituintes. Será ainda feito um contexto normativo.

Por fim será feita uma abordagem sobre os diversos casos de patologia mais frequentes das argamassas no contexto da interface azulejo/argamassa que ajuda a explicar algumas das anomalias mais relevantes em paredes azulejadas.

4.2 Breve resumo histórico

O recurso a argamassa tem já milénios de existência. A argamassa de cal foi descoberta a aproximadamente dez mil anos atrás na Galileia [26].

Pensa-se que certos povos de civilizações primitivas utilizavam como material de construção, o adobe (argila amassada com água e seca ao sol). Estes tijolos “primitivos” eram, então, sobrepostos entre si a seco ou com uma camada da mesma argila amassada com água. Logicamente o material resultante não tinha boa resistência à acção da chuva por exemplo. Mas com o uso do fogo perto desses blocos, é plausível que a argila fosse por vezes cozida, havendo, assim, uma melhoria significativa face à pouca resistência registada inicialmente. Também é possível inferir que o pó gerado com o apagar do fogo sobre rochas calcárias ou margosas tivesse sido utilizado como material de ligação pois com a presença de água, este, tornava-se mais duro e resistente [27, 28].

A técnica evoluiu ao longo dos séculos, executando convenientemente as pedras em formas adequadas e usando-se uma massa plástica contendo gesso, areia, pedras, cal, água e fragmentos de tijolo, concedendo uma maior solidez. Este tipo de argamassas foram usadas na Babilónia em 4000 a.C. e usadas durante séculos até à era do império romano, a partir do qual começaram a usar-se pozolanas na constituição destas argamassas [28]. Utilizavam, ainda, o sangue a banha e o leite como adjuvantes, pensa-se que para aumentar a trabalhabilidade.

O povo romano denominou este tipo de revestimento de “opus signinum” [29]. Este tipo de argamassa é, inclusive usado em diversas obras de arte.

As argamassas de cal começaram a ser pouco utilizadas em detrimento às argamassas de cimento (principalmente desde finais do século XIX, quando se registou a primeira patente de manufactura de argamassas secas na Europa [28]), inclusive, quando as últimas não são muito adequadas.

4.3 Tipos de argamassa para reabilitação de fachadas

Normalmente na reabilitação de fachadas, existe uma panóplia de argamassas que correntemente são utilizadas, umas com maior sucesso que outras, sendo elas [22]:

- 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 pó de tijolo, pozolanas)
- Argamassas pré-doseadas

É de conhecimento comum que as argamassas de cimento são pouco adequadas pois, para além do seu aspecto nada ter que ver com o aspecto de uma argamassa antiga, degradam argamassas e paramentos adjacentes devido à presença de sais solúveis.

As argamassas de cal, representam melhor as argamassas antigas, ainda que apresentem pontualmente, talvez devido ao pouco conhecimento das técnicas de execução e aplicação, problemas de durabilidade. Por seu turno, as argamassas intermédias tentam pesar convenientemente as boas características entre as argamassas de cal e as de cimento, no entanto, estas acarretam sempre o problema dos sais solúveis entre outros. As pré-doseadas apresentam comportamentos bastante díspares, pelo que o seu uso deverá ser feito caso a caso [22].

4.4 Argamassas de cal aérea aditivadas

4.4.1 Características gerais

As argamassas de cal aérea têm tido especial destaque ao longo da história dada a sua fácil obtenção [31] e como tal, nas obras de conservação e reabilitação a argamassa a usar deverá ser tal que represente o mais fielmente a argamassa existente.

As argamassas com base em cal aérea apresentam um teor em argila inferior a 5%, têm uma presa lenta e progressiva, são ecológicas porque absorvem o dióxido de carbono para a carbonatação da cal e são esteticamente agradáveis ao conferirem maior plasticidade e luminosidade aos paramentos [30].

Assim, estas argamassas de reabilitação têm de satisfazer certos requisitos de diversos géneros [24]:

- Não contribuir para a degradação dos elementos já existentes mas sim para a sua conservação.
- Manter a integridade estética da fachada
- Ser reversível e reparável
- Manter a identidade funcional, material e tecnológica

Quando contêm pozolanas, as características principais mantêm-se mas apresentam:

- Maior resistência mecânica
- Maior durabilidade
- Maior resistência aos sais
- Endurecimento mais rápido mesmo em ambientes húmidos ou com fraca exposição ao ar.

4.4.2 Constituintes e sua caracterização

As argamassas de cal aérea aditivadas são constituídas por água, agregados e ligante (cal) e aditivos [21]. No presente trabalho o aditivo a ser usado é o metacaulino (pozolana artificial).

Discriminando agora cada os seus constituintes mais relevantes temos:

- Agregados: O agregado é normalmente o componente maioritário das argamassas, apresenta actividade química praticamente nula, um baixo coeficiente de expansão térmica mas o que influencia decisivamente o seu desempenho é a forma e gradação das partículas [31]. Segundo a origem podem ser classificados como naturais, industrializados e reciclados [28]. Segundo as dimensões das partículas são classificados em finos e grossos. E, de acordo com a massa volúmica são agrupados em leves, médios e pesados [28]. Para a presente dissertação, o agregado a usar será a areia-siliciosa e também o saibro (areia argilosa).
- Ligante: A cal aérea é o ligante que resulta da decomposição, pela acção da temperatura duma rocha com pelo menos 95% de carbonato de cálcio, ou de cálcio e magnésio. [32, 27]. Hoje em dia, conhece-se a composição mineralógica dos diversos tipos de pedra calcária, que pode conter diferentes quantidades de calcite, dolomite, magnesite e aragonite e é muito importante a quantificação de material argiloso presente na matéria-prima [25].

Apesar do processo de cozedura da pedra calcária em cal viva (óxido de cálcio) ter sofrido alterações ao longo dos tempos, salienta-se que o processo de cozedura artesanal ainda subsiste até aos tempos actuais. Este processo verifica-se entre os 800 e 1000°C, temperatura à qual a pressão do dióxido de carbono que sai do calcário é pouco superior à pressão atmosférica.

A cal, usada como ligante nestas argamassas pode ser de dois tipos, cal aérea e cal hidráulica (cal que resulta da cozedura de calcários margosos com mais de 5 por cento de argila ou de misturas de calcário e argila) [33].

- As pozolanas definem-se como materiais siliciosos ou silico-aluminosos que possuem poucas ou nenhuma propriedade cimentícia mas que, finamente divididos e na presença de humidade reagirão quimicamente com álcalis e hidróxidos alcalino-terrosos a temperaturas vulgares ajudando à formação de compostos com propriedades cimentícias. Podem ser naturais (origem vulcânica) ou artificiais.

O metacaulino é um material pozolânico artificial e é o produto da calcinação do caulino. A sua obtenção é possível através da cozedura do material caulínico mais ou menos puro a temperaturas entre os 650 e 800°C. O comportamento do caulino durante a fase de aquecimento traduz-se na perda da água adsorvida por volta dos 100°C e na sua desidroxilação por volta dos 500°C com a formação do metacaulino [25]. A sua utilização é normalmente associada como inibição da reacção alcali-silica no betão ou como substituto do cimento [25]. Em termos de composição mineralógica, os constituintes são o quartzo, mica, feldspato e caulinite (material predominante). No que diz respeito à composição química, apresenta como óxidos principais SiO_2 e Al_2O_3 .

O conhecimento do comportamento das argamassas de cal aérea é de extrema importância para a sua empregabilidade em obras de reabilitação pelo que todos os estudos feitos no sentido de alargar esse mesmo conhecimento são naturalmente de saudar.

4.4.3 Caracterização mecânica, física e química

Para poder responder da melhor forma a estes requisitos, terão de ser definidas características mecânicas, físicas e químicas. Estas serão determinadas recorrendo a ensaios inerentes a cada uma das características.

As características mecânicas a estudar deverão ser semelhantes às argamassas existentes e sempre inferiores às do suporte [34]. São elas [34, 35]:

- Resistência à tracção
- Resistência à compressão
- Resistência à flexão
- Módulo de elasticidade (E)
- Aderência ao suporte

No que diz respeito às características físicas preponderantes, elas são:

- Coeficiente de capilaridade

- Permeabilidade ao vapor de água

Relativamente às características químicas, destacam-se as seguintes:

- Limitação do teor de sais solúveis
- Resistência a sais solúveis

Este trabalho irá incidir nas características mecânicas acima mencionadas.

4.4.4 Requisitos mecânicos para argamassas de revestimento

Para definir as condições a respeitar pelas novas argamassas, será muito importante, conhecer as características dos elementos pré-existentes com os quais a nova argamassa vai interagir. No entanto o estudo sistemático das características de paredes em edifícios antigos em Portugal é praticamente inexistente. Este género de avaliações, são realizadas, normalmente, quando se trata de construções de interesse histórico, em centro históricos das cidades ou em trabalhos académicos [35].

Apesar de tudo, a realização de trabalhos neste âmbito sugerem certos limites a seguir expostos (Tab. 2). De realçar que os dados servem de indicação, não sendo valores estáticos.

Tab. 2 - Requisitos mecânicos par argamassas de substituição para edifícios antigos

Uso	Características mecânicas			Comportamento à retracção restringida			
	Rt (MPa)	Rc (MPa)	E (MPa)	F _{máx.} (N)	G (N.mm)	CSAF	CREF
Reboco Exterior	0,2 - 0,7	0,4 - 2,5	2000 - 5000	< 70	> 40	> 1,5	> 0,7
Reboco Interior	0,2 - 0,7	0,4 - 2,5	2000 - 5000	< 70	> 40	> 1,5	> 0,7
Juntas	0,4 - 0,8	0,6 - 3	3000 - 6000	< 70	> 40	> 1,5	> 0,7

Rt - Resistência à tracção; Rc - Resistência à compressão; E - Módulo de elasticidade; F_{máx.} - Força máxima induzida por retracção restringida; G - Energia de rotura à tracção; CSAF - Coeficiente de segurança de abertura à 1ª fenda; CREF - Coeficiente de resistência à evolução da fendilhação

4.4.5 Casos de patologia frequentes em sistemas azulejo/argamassa

Não é possível realizar uma descrição adequada das anomalias nas argamassas sem referir a problemática da interface azulejo/argamassa. Aliás, as anomalias de maior relevo de revestimentos azulejados são originadas devido à interacção entre a argamassa e o azulejo.

Assim, as anomalias mais correntes na camada de assentamento dos ladrilhos que estão na origem de diversos problemas (como o descolamento e a fissuração) dos azulejos são [19, 36]:

- Fendilhação

- Deformações excessivas
- Presença de água e sais solúveis

Para além destas anomalias, há propriedades e características de cada material que devido à sua diferenciação, influenciam o funcionamento do conjunto tais como a diferente capacidade de absorção de água, diferentes coeficientes de dilatação térmica (α) ou coeficiente de poisson (ν) e módulo de elasticidade (E) distintos [19].

Apresenta-se agora na Tab. 3 uma relação entre as diversas anomalias no revestimento cerâmico (já enunciadas em 3.4.4), os seus sintomas e as suas causas [28, 36]:

Tab. 3 – Sintomas e causas de diversas anomalias em fachadas com revestimentos cerâmicos [36]

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 caberem no espaço que anteriormente ocupavam	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 (de limpeza, planeza, porosidade)
Fissuração	Fissuras que atravessam toda a espessura dos ladrilhos	Fendilhação do suporte, ou movimentos diferenciais suporte-revestimento que provocam tracções nos ladrilhos.
		Contração ou expansão do produto de assentamento dos ladrilhos
		Choque violento ou choque em ladrilhos mal assentes
Esmagamento ou lascagem nos bordos dos ladrilhos	-	Rotura por flexão em ladrilhos mal assentes
Esmagamento ou lascagem nos bordos dos ladrilhos	-	Movimentos diferenciais suporte-sistema de revestimento, que resultam em compressão nos ladrilhos
Endoamento prematuro	Manchas de produtos enodoantes na face útil dos ladrilhos	Seleção 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 de poros na superfície dos ladrilhos; em consequência do desgaste, ou de ataque químico retêm a sujidade.
Riscagem ou desgaste prematuro dos ladrilhos	Zonas evidenciando riscagem ou desgaste profundo ou desaparecimento do vidrado dos ladrilhos	Ataque químico
Alteração de cor	Alteração localizada da cor inicial dos ladrilhos	Desgaste nas zonas de maior circulação
		Ataque químico
Desprendimento do vidrado	Crateras rodeadas por fissuras concêntricas	Seleção 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	-	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

4.4.6 Enquadramento normativo

Embora já tenham sido aplicadas em Portugal argamassas de cal e metacaulino, não há experiência relativamente à sua aplicação em fachadas azulejadas. Assim foi efectuado um levantamento das diversas ferramentas normativas existentes relacionadas.

A Norma Europeia EN 12004 – Adhesives for tiles – Definitions and Specifications [37] aplica-se a todas as colas para aplicações interiores e exteriores de ladrilhos cerâmicos em pavimentos e paredes. Especifica ainda, os valores de requisitos funcionais para todos os cimentos-cola para ladrilhos. E, define cimento-cola como sendo uma mistura de materiais hidráulicos, de cargas minerais e de aditivos orgânicos. O cimento cola deve ser misturado com água ou com o líquido de amassadura imediatamente antes da sua utilização [37]. O termo argamassa-colante também é utilizado para denominar cimento-cola [16].

A norma EN 12004 e a publicação do Cahier 3264 do Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) [38] distinguem três tipos de adesivos de acordo com a sua função química. E, cada tipo está dividido em características fundamentais e opcionais.

Segundo a British Standards Institutions (BSI) e a Union Européen pour L'agrément Technique dans la construction (UEAtc), a classificação dos tipos de argamassa é feita consoante a sua resistência à acção da água [16].

A norma alemã DIN 18.156 – 2 da Deutsches Institut fur Normung (DIN) apenas apresenta uma classe de argamassa aplicável. A American National Standards Specifications (ANSI) distingue as argamassas em função da sua composição [16].

A normalização para a definição das características a respeitar nas argamassas encontra-se patente no Dicionário Técnico de Argamassas Europeias (EMOdic) [39] que é bastante claro.

Tab. 4 - Características de aplicação referentes a argamassas frescas e características finais referentes a argamassas endurecidas [16,40, 43, 45]

	Características	Norma de ensaio
Aplicação	Trabalhabilidade	EN 1015-9
	Ar incluído	EN 1015-7
	Compactação	EN 13318
	Consistência	EN 1015-3; EN 12706
	Poder Molhante	EN 1347
	Retenção de água	EN 1015-8
	Tempo de ajustabilidade	EN 1015-9
	Tempo de presa	EN 1015-4
	Tempo de vida	EN 1015-9
Finais	Resistência à tracção	EN 1348; EN 1015-12; EN 12643
	Aderência	EN 1348
	Capilaridade	EN 1015-18; EN 13888
	Deformabilidade	ISO 5271 + 2
	Deformação transversal	EN 12002
	Permeabilidade ao vapor de água	EN 1015-19
	Porosidade	EN 1015-7
	Resistência à abrasão	ISO 7784-2; EN 12808-2
	Resistência à compressão	EN 1015-11; EN 13888
	Resistência à flexão	EN 1015-11; EN 13888
	Resistência ao corte	EN 1322; EN 12615
Retracção	EN 12808-4	

5 Descrição dos procedimentos de ensaio

Este capítulo abrangerá todos os procedimentos afectos aos ensaios realizados no âmbito da dissertação. Assim, serão descritos os ensaios realizados nas argamassas antigas, nas composições de argamassa desenvolvidas e por fim os ensaios executados em painéis elaborados em alguns dos edifícios alvo de intervenção.

Todos os ensaios às novas formulações foram realizados aos 28 e 90 dias.

Segue-se um quadro síntese (Tab. 5) onde se apontam os ensaios realizados às argamassas.

Tab. 5 - Ensaios executados nas argamassas

Produto	Ensaio	Idade	Normas aplicáveis
Matérias-primas	Massa volúmica	-	Cahier 2669-4 CSTB
	Análise granulométrica	-	-
Argamassas antigas	DRX	-	-
	ATG	-	-
	Módulo de elasticidade pelo método dos ultrasons	-	-
	Resistência à compressão	-	NP EN 1015-11
Argamassas novas	Massa volúmica	-	NP EN 1015-6
	Consistência por espalhamento	-	NP EN 1015-3
	Módulo de elasticidade pelo método dos ultrasons	28d; 90d	-
	Módulo de elasticidade dinâmico	28d; 90d	Cahier 2669-4 CSTB
	Resistência à tracção por flexão	28d; 90d	NP EN 1015-11
	Resistência à compressão	28d; 90d	
	Susceptibilidade à fendilhação	28d	Pa 37

5.1 Ensaaios afectos às argamassas antigas

Para caracterizar as argamassas a nível químico e mineralógico foram efectuadas análises de DRX (Difracção de raios X). De forma a quantificar o ligante foram utilizadas análises ATG (Análise Termogravimétrica).

Foram ainda realizados dois tipos de ensaios mecânicos às amostras recolhidas de argamassas antigas, determinação do módulo de Elasticidade (E) pelo método dos ultra-sons e o ensaio à compressão.

Tendo em conta o cariz destrutivo de um dos ensaios (compressão) foram ensaiadas duas amostras de cada edifício validando assim de uma forma mais segura a fiabilidade dos resultados obtidos.

5.1.1 Difracção de raios-x (DRX)

Esta análise tem como objectivo a obtenção da informação, em termos qualitativos, dos compostos cristalinos existentes na amostra.

Para este processo procedeu-se previamente à moagem e secagem das amostras de modo a ficarem completamente em pó. Parte dessa moagem foi passada pelo peneiro de 75 micrómetros para se analisar a fracção fina de modo a ter-se mais indicações sobre o ligante.

Assim, os raios x incidem na amostra, e através da sua difracção pelos cristais é exequível obter um difractograma onde se detectam os diferentes materiais cristalinos presentes na argamassa. O aparelho onde foram realizadas estas análises é o Difractómetro de Raios-X Philips X-Pert Pró.

5.1.2 Análise termogravimétrica (ATG)

Com esta análise é possível obter-se 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.

As variações de massa correspondentes a alterações dos materiais constituintes das argamassas podem ser detectadas nos termogramas, auxiliando a determinação da sua composição em termos qualitativos e quantitativos [25].

Para a execução das análises termogravimétricas foi utilizado o aparelho 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.

5.1.3 Determinação do módulo de Elasticidade (E)

Dada a geometria bastante irregular das amostras a ensaiar, a determinação do módulo de elasticidade foi executada com duas situações de ensaio diferentes, a primeira considerando a distância percorrida pela sonda correspondente à espessura média da amostra (mm) e a segunda tendo em conta o comprimento médio da amostra (mm).

É essencial que os transdutores estejam devidamente alinhados de modo a que a distância entre eles seja a menor possível.

O aparelho utilizado para a execução do ensaio foi a Steinkamp Ultrasonic Tester BP-7 (Fig. 25) do LNEC.



Fig. 25 - Máquina de ensaios para a determinação do módulo de Elasticidade (E) pelo método dos ultra-sons

Num primeira fase a máquina de ensaios é calibrada. Seguidamente a amostra é colocada na mesa de ensaio e colocam-se os transdutores em pontos determinados. A grandeza a retirar da máquina de ensaios é o tempo (μs) de percurso da onda ultra-sónica na distância entre sondas considerada, efectuou-se esta leitura seis vezes tendo em consideração a heterogeneidade das amostras. De assinalar que as dimensões da amostra são valores médios depois de terem sido registadas três leituras para cada uma das dimensões (Fig. 26).



Fig. 26 - Determinação das dimensões das amostras de argamassas

Após a recolha dos tempos de percurso sonda a seguinte metodologia foi seguida para determinação do módulo de elasticidade:

- O valor do coeficiente de Poisson (ν) usado para a determinação do módulo de elasticidade foi de 0.2.

- Calculou-se a densidade da amostra a estudar.

- Determinou-se velocidade da sonda a percorrer a amostra recorrendo aos tempos retirados do equipamento.

- Determinou-se a constante (k), dependente do coeficiente de Poisson.

Finalmente determinou-se o módulo de elasticidade através da (Eq. 1).

$$K = \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{1 - \nu}$$

$$E = k \cdot v^2 \cdot \text{densidade}$$

Eq. 1 - Fórmulas para a determinação do módulo de elasticidade

E – Módulo de elasticidade (MPa)

ν - Coeficiente de Poisson

K- Constante dependente de ν

V – Velocidade

5.1.4 Resistência à compressão

O segundo ensaio realizado às argamassas antigas foi o ensaio de compressão. Para tal, e devido à irregular geometria das amostras, houve a necessidade de as preparar convenientemente para as ensaiar utilizando uma metodologia previamente estudada e validada [41].

Assim, para cada amostra foi executada uma argamassa de cimento ao traço 1:3 que serviu para confinar a amostra na máquina de ensaios. A argamassa de confinamento colocada sobre as amostras nas duas faces assumiu dimensões médias de 4 x 4 x 1 (cm). Apesar de a amostra final a ensaiar ter duas argamassas, garantiu-se que a rotura ocorreu pela argamassa antiga como era objectivo (Fig. 28).



Fig. 27 - Colocação da argamassa de confinamento



Fig. 28 - Amostra pronta para ensaiar

Após a argamassa de confinamento estar devidamente seca, realizou-se o ensaio de compressão (Fig. 29).



Fig. 29 – Argamassa antiga a ser ensaiada

A obtenção do valor da resistência à compressão (MPa) das amostras determinou-se através da seguinte fórmula:

$$R_c = \frac{F_c}{A} [\text{MPa}]$$

Eq. 2 - Resistência à compressão (MPa)

F_c – Força na rotura (N)

A – Secção média em contacto com a célula de ensaio ($\approx 40 \times 40 \text{ mm}^2$)

5.2 Ensaio afectos às novas formulações de argamassas

Numa fase primária foram realizados ensaios aos materiais constituintes das novas argamassas.

Seguidamente, ocorreu a preparação dos provetes e determinou-se respectivamente o espalhamento e a massa volúmica.

Numa fase posterior, executaram-se o ensaio de susceptibilidade à fendilhação e aos 28 e 90 dias os ensaios para a determinação do módulo de elasticidade (E) e os ensaios de resistência à flexão e compressão (MPa).

5.2.1 Ensaio realizados às matérias-primas

Os materiais usados na formulação das novas argamassas foram o metacaulino, a cal aérea, saibro e areia de rio.

Para todos os materiais acima enumerados, foram determinadas as respectivas massas volúmicas aparentes (g/dm^3) e determinou-se ainda as granulometrias para as duas areias citadas.

5.2.1.1 Massa volúmica aparente dos materiais

A determinação da massa volúmica aparente dos constituintes dos materiais decorreu conforme a norma Cahier 2669-4 CSTB. Para tal, mediu-se a massa do recipiente (g) e o seu volume (dm^3), em seguida encheu-se o cone com o material a ensaiar, deixando-o cair seguidamente livremente para o recipiente (Fig. 30). Mediu-se a massa total do recipiente mais a do material e determinou-se a massa volúmica. Repetiu-se este procedimento três vezes e determinou-se o valor médio da massa volúmica aparente (g/dm^3).



Fig. 30 - Aparelho para a determinação experimental da massa volúmica aparente

5.2.1.2 Análise granulométrica das areias

No que concerne aos ensaios executados aos materiais constituintes das novas formulações foram determinadas as granulometrias das duas areias (saibro e areia de rio) a serem usadas.

As areias foram devidamente colocadas a secar e só depois se determinou a sua granulometria segundo a série de peneiros ASTM.

5.2.2 Determinação da massa volúmica

A determinação da massa volúmica seguiu a norma EN 1015-6 [42]. Assim, determinou-se a massa do recipiente onde irá ser colocada a argamassa. Posteriormente encheu-se o recipiente até meia altura e deixou-se cair o molde 10 vezes. Em seguida encheu-se completamente o recipiente com a argamassa e deixou-se cair mais 10 vezes. Depois alisou-se a face do recipiente e mediu-se a massa total (recipiente/argamassa). A determinação da massa volúmica foi feita subtraindo à massa total a massa do recipiente vazio.

5.2.3 Determinação da consistência por espalhamento

Este ensaio foi executado de acordo com a norma EN 1015-3 [43]. Inicialmente, dá-se 10 pancadas na mesa de espalhamento. Coloca-se o molde cónico no centro da mesa e enche-se o mesmo por duas ocasiões e em cada uma dela compacta-se 10 vezes com um varão de compactação.

Em seguida retira-se o excesso de argamassa alisando a face superior do cone e retira-se o cone (Fig. 32). Após retirar-se o cone dá-se 15 pancadas em 15 segundo à mesa de espalhamento. No final mede-se 2 diâmetros perpendiculares entre si (Fig. 33).



Fig. 31 - Molde cónico com argamassa



Fig. 32 - Argamassa sem molde cónico



Fig. 33 - Medição do espalhamento

5.2.4 Determinação do módulo de Elasticidade (E)

Para as novas formulações das argamassas determinou-se o módulo de elasticidade por 2 métodos, pelo método dos ultra-sons de acordo com (5.1.1) e através do método da frequência de ressonância (Módulo de elasticidade dinâmico).

A determinação do módulo de elasticidade por frequência de ressonância está de acordo com a norma Cahier 2669-4 CSTB [44]. O equipamento usado na sua determinação foi o ZRM 001 do LNEC.

Os provetes para o ensaio têm dimensões de 40 x 40 x 160 (mm). A determinação do módulo de elasticidade dinâmico resulta da medição da frequência de ressonância derivada da vibração longitudinal dos provetes, através da seguinte fórmula:

$$E_d = \frac{4L^2 * F^2 * P}{g}$$

Eq. 3 - Expressão par a determinação do módulo de elasticidade dinâmico

Em que,

L – Comprimento do provete (m)

F – frequência de ressonância longitudinal (Hz)

P – peso volúmico (N/mm³)

g – aceleração da gravidade (m/s²)

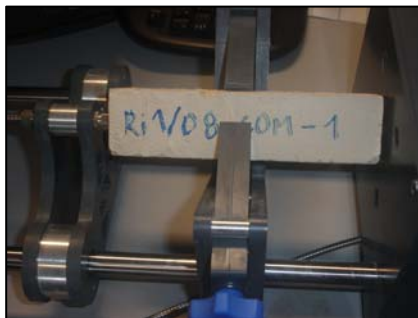


Fig. 34- Colocação do provete no equipamento de ensaio para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico

5.2.5 Resistência à tracção por flexão

Este ensaio decorreu de acordo com a norma EN 1015-11 [45]. Assim, coloca-se o prisma de dimensões 40 x 40 x 160 sobre cilindros de apoio e com o seu eixo longitudinal perpendicular aos apoios e posterior aplicação da carga concentrada a meio vão com um aumento uniforme,

geralmente entre 10 N/s e 50N/s de modo a que se obtenha rotura num intervalo de tempo entre 30s a 90s. O valor da resistência à flexão é dado pela seguinte expressão:

$$f = 1.5 * \frac{F * l}{b * d^2}$$

Eq. 4 - Expressão para a determinação da resistência à flexão

Em que,

f – resistência à flexão (MPa)

b – largura do prisma (mm)

d – espessura do prisma (mm)

F – carga na rotura aplicada no centro do prisma (N)

l – distância entre apoios (mm)

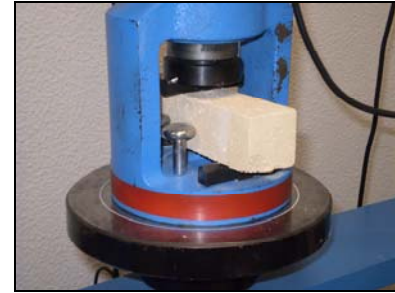


Fig. 35 - Prisma a ser ensaiado à flexão

Regista-se ainda, para cada argamassa foram realizados ensaios a 3 prismas.

5.2.6 Resistência à compressão

À semelhança do ensaio descrito anteriormente, este, também segue as especificações da norma EN 1015-11 [45]. Este ensaio acontece depois do ensaio à flexão, ou seja as metades do prisma resultantes desse ensaio serão ensaiadas à compressão.

Aplica-se uma carga com aumento uniforme, na ordem dos 50N/s até 5000N/s de modo a obter-se a rotura entre 30s e 90s, sobre a face do prisma de dimensões 40 x 40 (mm²). A resistência à compressão é calculada através da expressão já explicita em [5.1.4]:

$$R_c = \frac{F_c}{A} [\text{MPa}]$$

Eq. 5 - Resistência à compressão (MPa)

Em que,

F_c – Força na rotura (N)

A – Secção média em contacto com a célula de ensaio (40 x 40 mm²)



Fig. 36 - Prisma a ser ensaiado à compressão

5.2.7 Susceptibilidade à fendilhação

O ensaio de susceptibilidade à fendilhação foi elaborado de acordo com a Fe Pa 37 [46]. Este ensaio foi desenvolvido no LNEC durante um estudo de investigação [47].

Foram realizados 6 ensaios deste tipo, 3 para uma argamassa com metacaulino e outros 3 para uma argamassa sem metacaulino.

Numa primeira fase procedeu-se à moldagem dos provetes, estes encontram-se paralelos ao à mesa que lhes servem de apoio. Seguidamente os provetes com metacaulino foram envoltos em plástico, essencialmente, devido às exigentes condições de cura do metacaulino.



Fig. 37 - Ensaio de susceptibilidade à fendilhação

Posteriormente os provetes foram colocados perpendicularmente à mesa onde estão apoiados, ficando a cabeça superior imobilizada pelo parafuso ligado ao transdutor da força. A força desenvolvida pela retracção restringida da argamassa é medida pelo transdutor de força e registada num “data logger” (equipamento para armazenagem de dados) desde a moldagem até ao final do ensaio (aos 28 dias).

A determinação da resistência à tracção e o alongamento na rotura, que ocorre aos 28 dias, executa-se com a lenta movimentação do parafuso de modo a gerar uma força de tracção no

provete. Este procedimento é cumprido até à rotura e após a abertura da primeira fenda até à anulação completa da resistência.

Do ensaio retira-se o coeficiente de resistência à evolução da fendilhação (CREF) e o coeficiente de segurança à abertura da 1ª fenda (CSAF) determinados pelas seguintes expressões:

$$\text{CREF} = \frac{G}{F_{r\text{máx}}}$$

$$\text{CSAF} = \frac{R_t}{F_{r\text{máx}}}$$

Eq. 6 - Expressões para a determinação dos coeficientes de resistência à evolução da fendilhação (CREF) e do coeficiente de segurança à abertura da 1ª fenda (CSAF)

Em que,

G – Energia de rotura no ensaio de tracção (N/mm)

$F_{r\text{máx}}$ – Força máxima medida durante o ensaio de retracção restringida (N)

R_t – Resistência à tracção (N)

5.3 Aderência por tracção

O ensaio de aderência por tracção seguiu as especificações da norma EN 1015-12 [49].

Este ensaio tem o objectivo de avaliar a aderência do revestimento ao material de suporte. Este propósito é conseguido através da determinação da força necessária para arrancar do suporte uma determinada área de revestimento [50]. Para tal efectua-se, através de meio mecânico uma carotagem no local onde se vai colar as pastilhas. Seguidamente colam-se as pastilhas com 50mm de diâmetro ao suporte e espera-se que sequem convenientemente (pelo menos durante 24h). Em seguida fixa-se um dinamómetro às pastilhas e executa-se o arrancamento da carote registando a força necessária para o arranque da mesma.

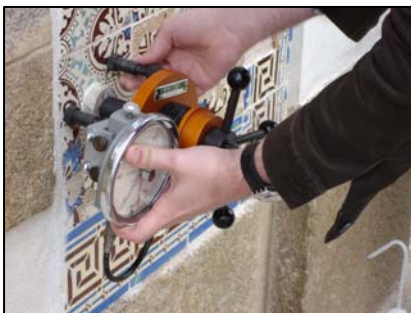


Fig. 38 - Fixação do dinamómetro à pastilha.



Fig. 39 - Arrancamento da carote.

6 Caracterização das argamassas antigas

De forma a adquirir um maior conhecimento das argamassas oriundas dos diversos edifícios objecto de estudo, surgiu naturalmente a necessidade de as caracterizar mais profundamente no que concerne aos seus componentes e características principais.

Esta caracterização é importante na medida em que permite saber até que ponto as suas especificidades influenciaram e influenciam no seu estado de conservação e também para fornecer indicações sobre as características a obter nas argamassas de substituição.

6.1 Recolha de Amostras

Foram alvo de estudo desta investigação, 7 edifícios (Fig. 40 e Fig. 41), todos eles, sitos na cidade de Ovar. As habitações objecto de intervenção e as argamassas recolhidas datam essencialmente do século XIX [15].

Tendo em consideração este facto e também para se ter uma panóplia significativa de argamassas a estudar foi elaborada uma vasta campanha de recolha de amostras em todas as habitações estudadas.

De salientar que todas as amostras recolhidas são pertencentes à fachada das respectivas edificações.



Fig. 40 - Casa alvo de intervenção, Rua Camilo Castelo Branco, Ovar



Fig. 41 - Casa alvo de intervenção, Rua Dr. António Sobreira, Ovar

6.2 Técnica de amostragem

Procedeu-se à recolha das amostras procurando seguir, sempre que possível, um plano de amostragem tendo em atenção os factores a seguir expostos:

- Estado de conservação das amostras
- Amostras apenas de argamassa

- Amostras com argamassa e azulejo
- Recolha de material a diferentes alturas
 - Junto aos telhados
 - Junto ao solo
 - Junto a edifícios contíguos
 - Junto a vãos

Procurou-se minimizar, o máximo possível, o impacto negativo para as fachadas que as diversas recolhas implicaram.

6.3 Caracterização das amostras

6.3.1 Identificação das amostras ensaiadas

As amostras das argamassas antigas são oriundas dos edifícios em estudo. Apresenta-se a seguir um quadro de síntese (Tab. 6) com a quantificação das amostras ensaiadas consoante o respectivo edifício de origem.

Tab. 6 - Quantificação das amostras ensaiadas em função do edifício alvo de estudo

Edifício	Módulo de elasticidade E (MPa)	Resistência à compressão (Mpa)	DRX	ATG
Museu de Ovar	2	4	6	1
Rua Camilo Castelo Branco	2	2	15	2
Rua Dr. António Sobreira	2	4	4	2
Rua Dr. Cunha	1	2	-	-
Rua Dr. José Falcão	2	2	-	-
Rua Visconde de Ovar	1	2	-	-
Rua Elias Garcia	-	-	4	2

6.3.2 Resultados

Apresentam-se seguidamente os resultados relativos aos ensaios executados nas argamassas antigas anteriormente descritos em 5.1.

6.3.2.1 Difracção de raios x (DRX)

De acordo com a sua abundância, apresenta-se na Tab. 7 os resultados relativos às análises por DRX. De salientar que os diminutivos Par, Adj e P designam respectivamente, Paramento, Adjacente e análise da fracção fina (fracção passada pelo peneiro cuja abertura de malha é de 75 micrómetros).

Tab. 7 - Análise DRX às amostras de argamassa recolhidas dos diversos edifícios

Edifício	Amostras	Quartzo	Calcite	Mica/Ilite	Mica	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

A tabela acima permite constatar que a presença de quartzo e calcite é abundante em todas as amostras, estando este facto estar relacionado com a natureza do agregado silicioso e do ligante com base em cal aérea das argamassas em estudo [52, 53]. Foi adicionalmente detectada a presença constante de minerais argilosos sob a forma de ilite e/ou caulinite.

Salienta-se ainda que todas as amostras, ainda que grande parte sob a forma vestigial, tenham a presença de halite indicando, possivelmente o ambiente salino em que as amostras se encontram. A anidrite apenas está presente numa das 29 amostras.

6.3.2.2 Análise termogravimétrica (ATG)

No que diz respeito à análise ATG, foram analisadas sete amostras referentes a alguns dos edifícios estudados (figuras Fig. 42, Fig. 43, Fig 44, Fig. 45, Fig. 46, Fig. 47 e Fig. 48)

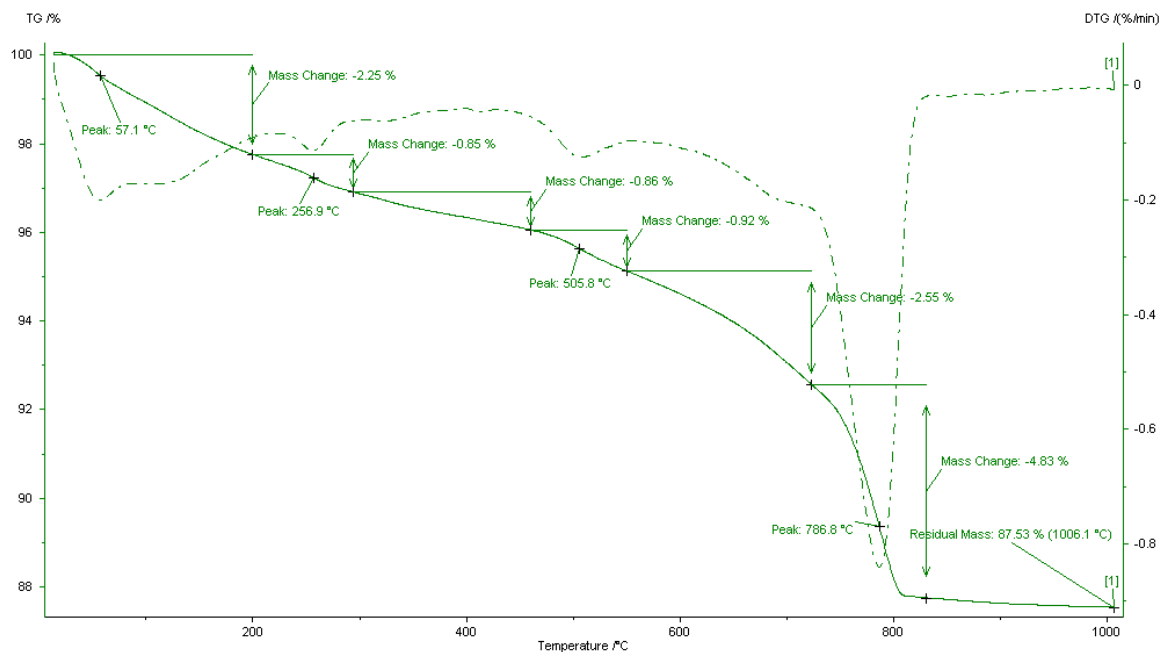


Fig. 42 - ATG Elias Garcia (Amostra 1)

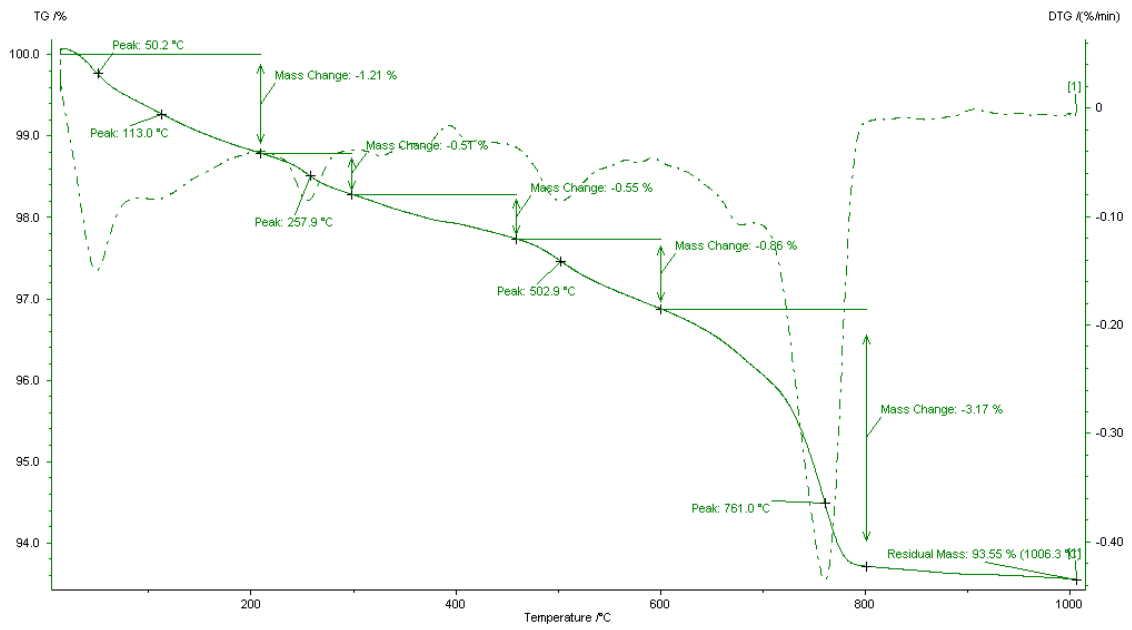


Fig. 43 – ATG Elias Garcia (Amostra 3)

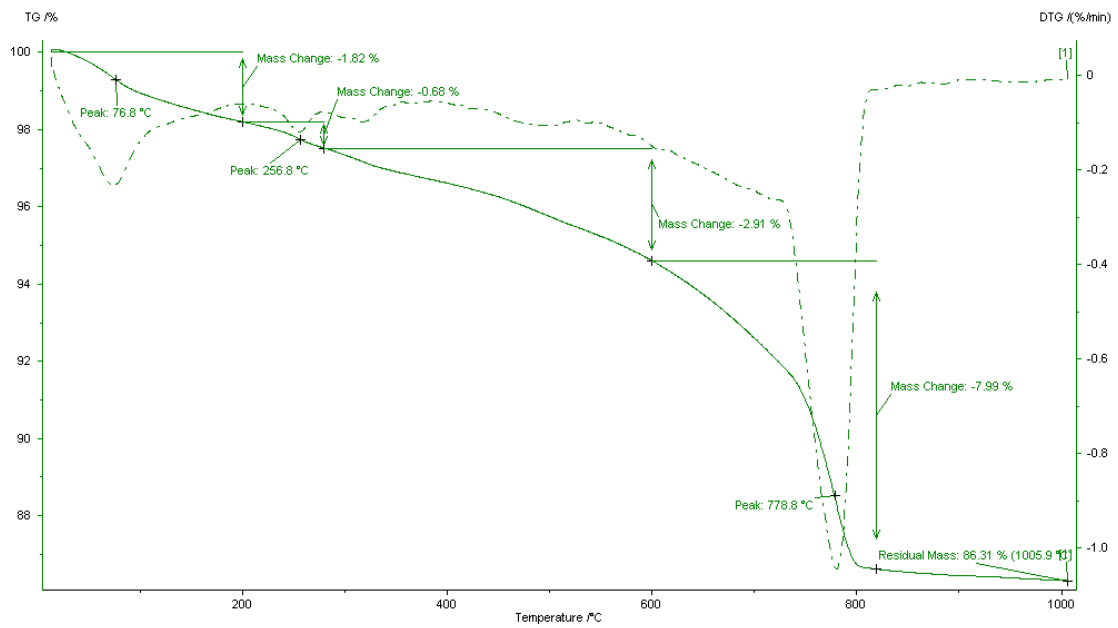


Fig 44 - ATG Museu de Ovar (Amostra 4)

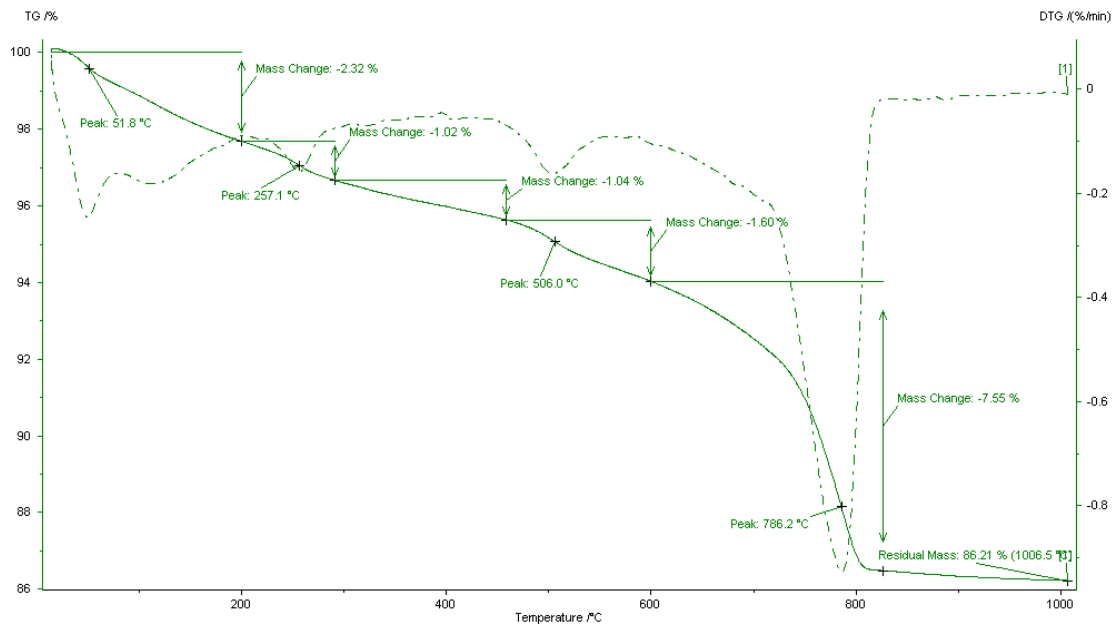


Fig. 45 - ATG Dr. António Sobreira (Amostra 1)

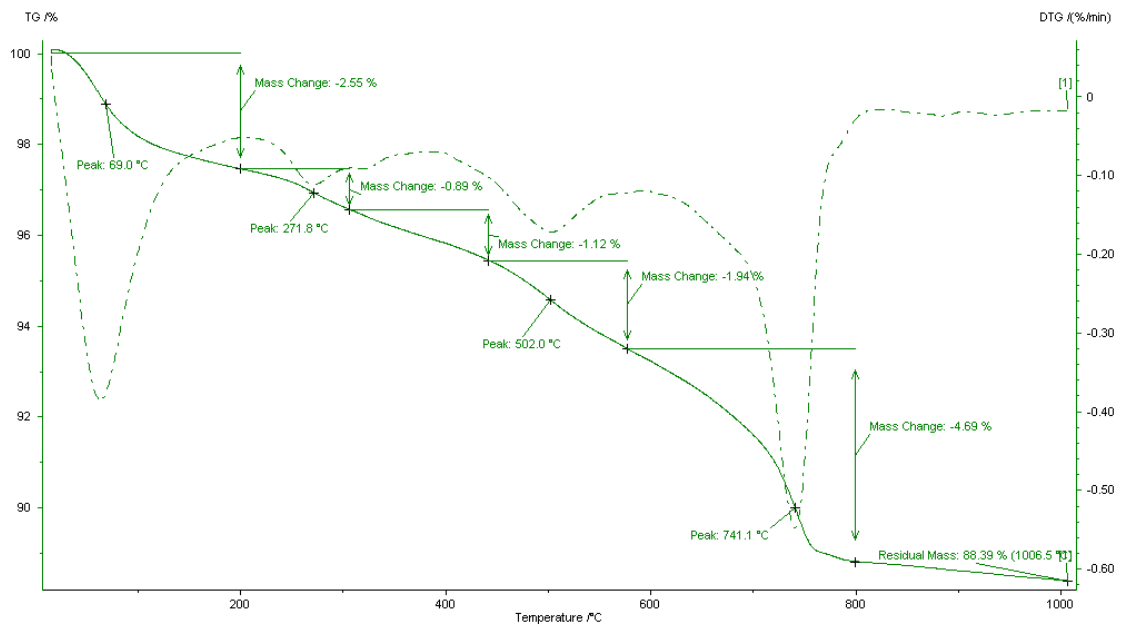


Fig. 46 - ATG Dr. António Sobreira (Amostra 4)

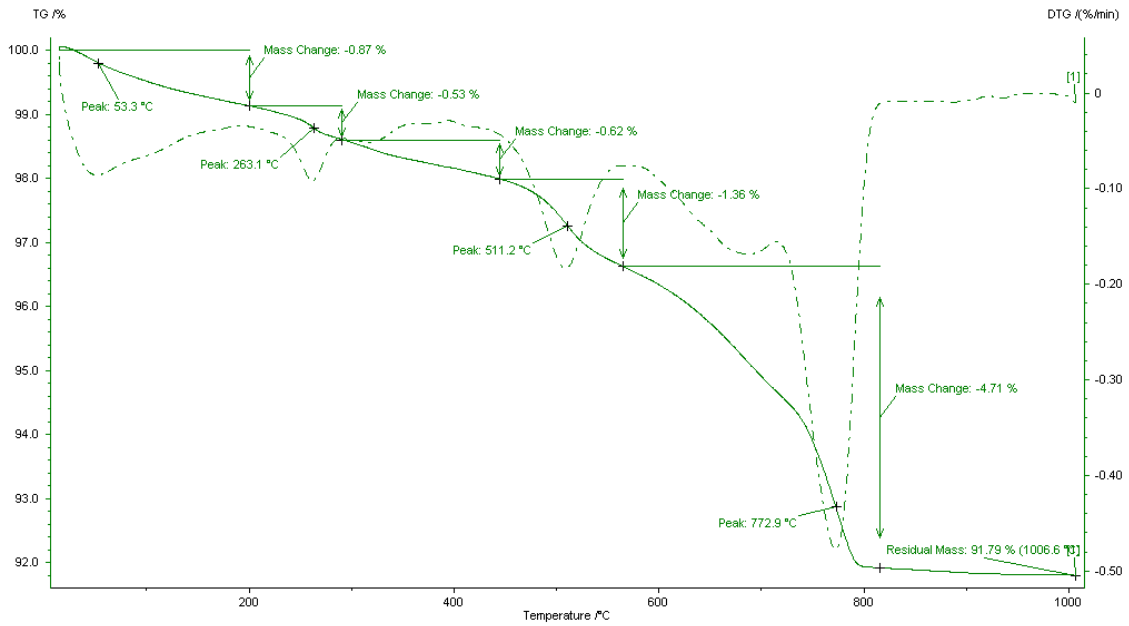


Fig. 47 - ATG Camilo Castelo Branco (Amostra 1)

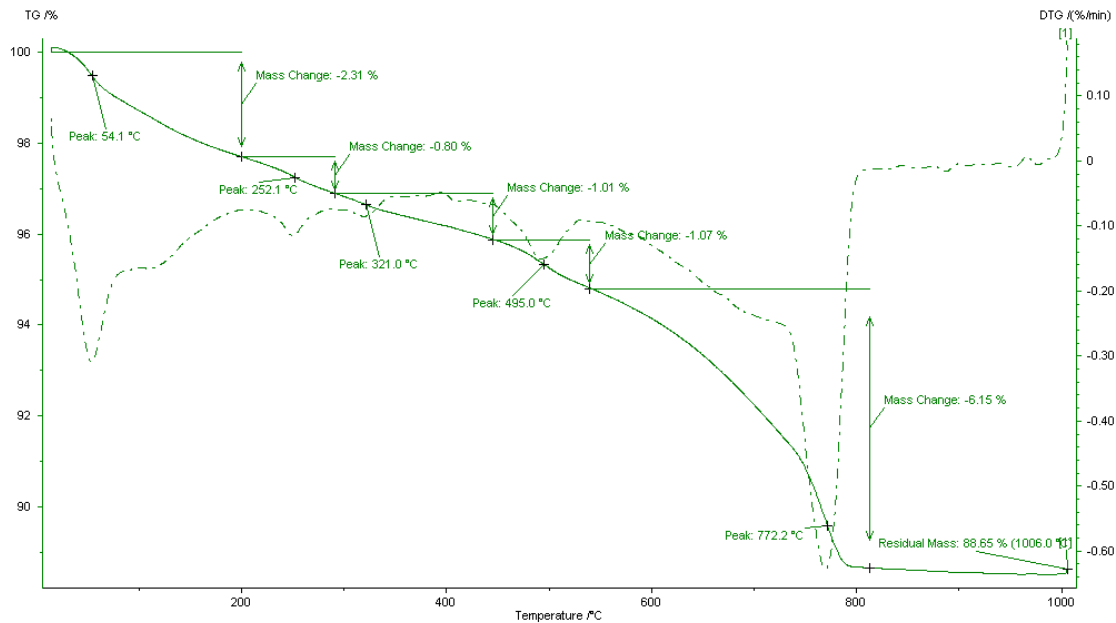


Fig. 48 - ATG Camilo Castelo Branco (Amostra 3)

As análises térmicas realizadas às amostras e acima expostas são bastante similares entre si. Assim pode referir-se que por volta dos 100° ocorre a libertação da água adsorvida. Seguidamente entre os 200 e os 600° ocorre a desidroxilação das fases argilosas e, possivelmente de fases hidratadas correspondentes a silicatos ou aluminosilicatos de cálcio hidratados quando existe componente hidráulica, o que deixa antever que algumas destas argamassas possam ter um ligante hidráulico [52 53]. O pico verificado na zona dos 430° não pode ser atribuído à portlandite, pois não foram encontrados vestígios deste mineral na análise efectuada por DRX.

A partir dos 600° regista-se a descarbonatação total da calcite [54], visível no pico próximo dos 800°C no gráfico ATG e permitindo a quantificação da quantidade de ligante.

Tab. 8 - Percentagem de Calcite das argamassas antigas a partir da ATG

Edifício	Amostra	% CaCO₃ (>600°C)	% Ca(OH)₂
EG	Amst. 1 (Amarelo)	16,78	12,42
	Amst. 3 (Rosa)	7,21	5,34
MO	Amst. 1	18,17	13,45
DAS	Amst. 1	17,17	12,71
	Amst. 3	10,67	7,90
CCB	Amst. 1 (Par)	10,71	7,93
	Amst. 2 (Adj.)	13,99	10,35

A tabela (Tab. 8) reflecte a percentagem de calcite de cada uma das amostras de argamassa antiga analisadas. Consta-se que o edifício MO é o que apresenta a maior percentagem de calcite (18,17%) correspondendo a maior teor de ligante.

É também de salientar que nas amostras analisadas para cada um dos edifícios DAS e EG ocorrem diferenças significativas entre elas. A diferença registada estará relacionada com a zona da qual as amostras foram recolhidas acrescendo a que, no caso, do edifício EG esta diferença poderá estar relacionada com a coloração da argamassa, onde o tom rosa implicará uma maior percentagem argilosa.

6.3.2.3 Módulo de Elasticidade (E)

Conforme descrito em 5.1.3, a determinação do módulo de elasticidade (E) para as amostras das argamassas antigas decorreu em duas condições distintas, a primeira considerando a distância percorrida pela sonda através da espessura média da amostra (medição transversal) e a segunda considerando a distância percorrida no sentido do comprimento médio da amostra (medição longitudinal).

Nas Tab. 9 e Tab. 10 apresentam-se os valores médios relativos às duas situações (distâncias percorridas pelas sondas), tendo como base as diferentes amostras e os diferentes edifícios.

Tab. 9 - Módulo de Elasticidade pelo método dos ultra-sons (MPa) das amostras das argamassas Antigas

Amostra		Medição Transversal (mm)		Medição Longitudinal (mm)	
		Emédio (MPa)	D.P.	Emédio (MPa)	D.P.
MO	Amst. 1	1142	459	1477	321
	Amst. 2	494		1022	
VO	Amst. 1	1159	-	2338	-
JF	Amst. 1	315	522	1305	679
	Amst. 2	1054		2265	
CCB	Amst. 1	1191	387	1377	306
	Amst. 2	643		1810	
DC	Amst.1	907	-	1489	-
DAS	Amst.1	858	104	765	623
	Amst. 2	711		1647	

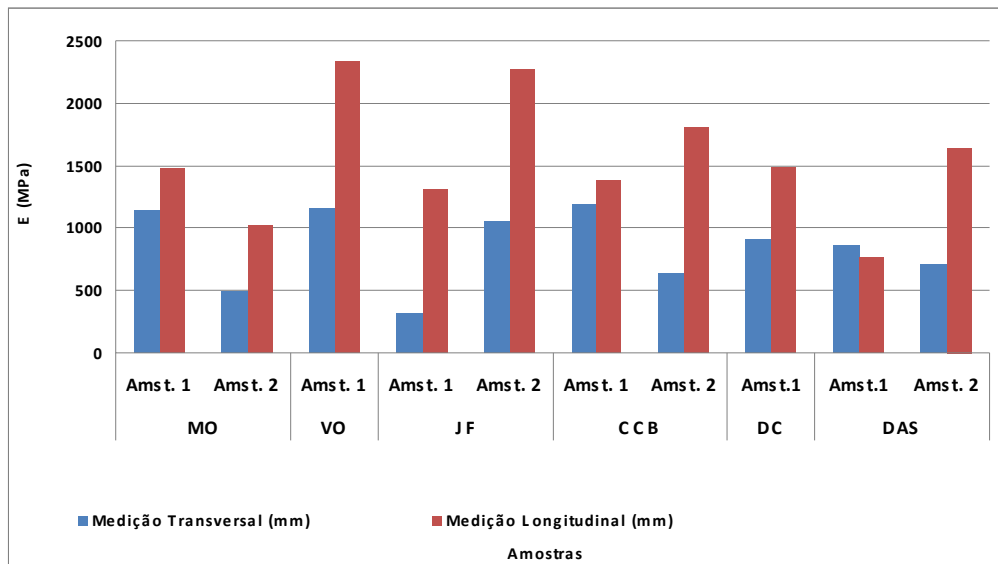


Fig. 49 - Módulo de Elasticidade pelo método dos ultra-sons (MPa) das amostras das argamassas antigas

Tab. 10 - Módulo de Elasticidade pelos ultra-sons (MPa) das argamassas dos edifícios alvo de estudo

Edifício	Medição Transversal (mm)	Medição Longitudinal (mm)
	Emédio (MPa)	Emédio (MPa)
MO	818	1250
VO	1159	2338
JF	684	1785
CCB	917	1593
DC	907	1489
DAS	858	1206

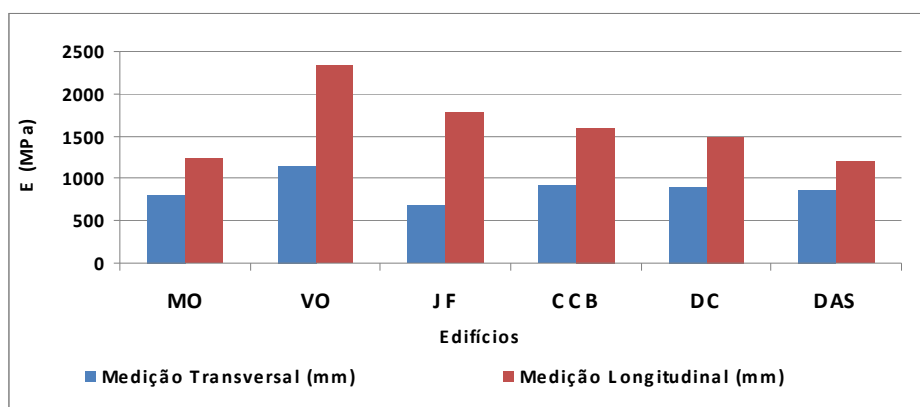


Fig. 50 - Módulo de Elasticidade pelos ultra-sons (MPa) das argamassas dos edifícios alvo de estudo

As Tab. 9 e Tab. 10, Fig. 49 e Fig. 50 permitem verificar que apesar do método usado para a determinação do módulo de Elasticidade (E) ter sido o mesmo, as duas formas de medições efectuadas levaram a valores distintos. A medição longitudinal das amostras conduziu a valores substancialmente mais altos (cerca de 2 vezes) que a medição transversal. Esta discrepância poderá dever-se ao facto que na medição transversal a heterogeneidade de material que a sonda atravessa é maior e mais representativa que na medição longitudinal. Os valores relativos à medição longitudinal são mais fiáveis e concordantes para este tipo de argamassas antigas [55, 56, 57].

Nos dados relativos às amostras isoladas regista-se que os valores mais altos de módulo de Elasticidade pertencem à amostra 1 do edifício VO, situando-se nos 2338MPa para a medição longitudinal e 1159MPa na medição transversal. Já a amostra 1 do edifício DAS é das que apresenta valores mais reduzidos.

No que diz respeito às diferenças entre os valores das amostras isoladas os edifícios DAS e VO são os que assumem maior diferença, na ordem dos 900MPa, diferença que poderá ser explicada pelas zonas diferentes de recolha dos respectivos edifícios. Regista-se ainda que o

comportamento gráfico é semelhante entre os dados relacionados com as amostras isoladas e dos edifícios.

6.3.2.4 Resistência à compressão

De acordo o procedimento descrito em 5.1.4, apresenta-se em seguida sucintamente os resultados obtidos para a resistência à compressão das diferentes amostras de argamassas antigas assim como a resistência em função do edifício alvo de estudo.

Tab. 11 - Resistência à compressão (MPa) das amostras das argamassas antigas

Amostra		Resistência à compressão das amostras	
		Rc médio (Mpa)	D.P.
MO	Amst. 1	1,08	0,23
	Amst. 2	1,02	0,05
VO	Amst. 1	1,30	0,20
JF	Amst. 1	1,64	-
	Amst. 2	1,69	-
CCB	Amst. 1	1,92	0,62
	Amst. 2	0,91	0,06
DC	Amst. 1	1,37	0,12
DAS	Amst. 1	1,41	0,64
	Amst. 2	1,44	0,14

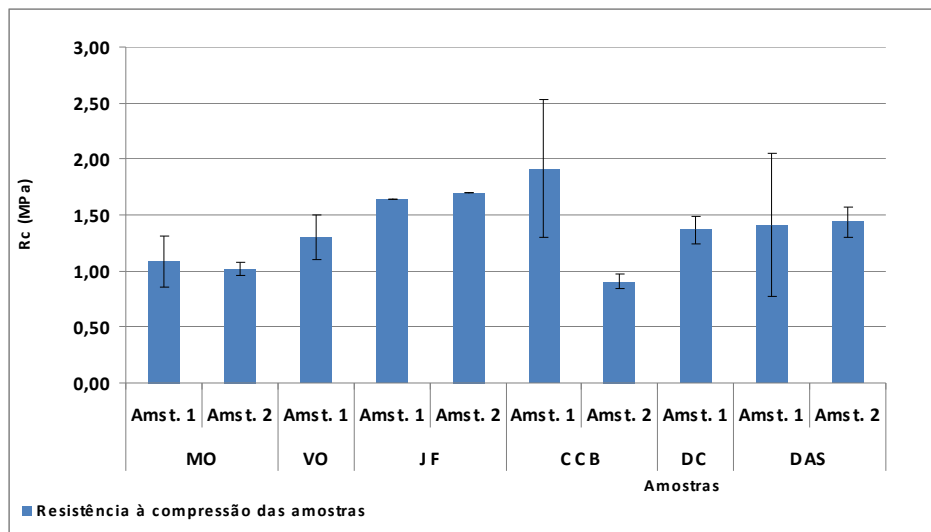
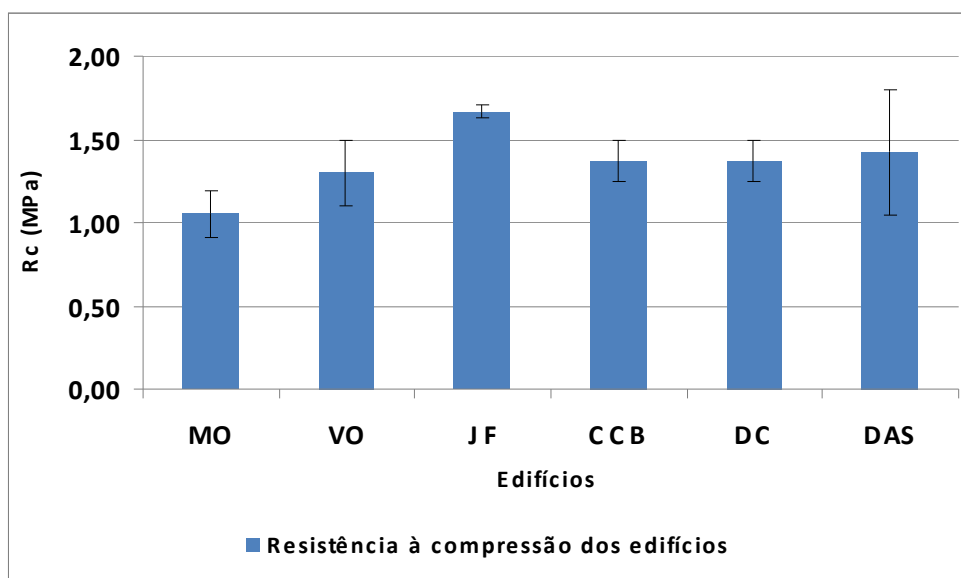


Fig. 51 - Resistência à compressão (MPa) das amostras das argamassas antigas

Tab. 12 - Resistência à compressão (MPa) das argamassas dos edifícios alvo de estudo

Edifício	Resistência à compressão dos edifícios	
	Rc médio (Mpa)	D.P.
MO	1,05	0,14
VO	1,30	0,20
JF	1,67	0,04
CCB	1,37	0,12
DC	1,37	0,12
DAS	1,42	0,38

**Fig. 52** - Resistência à compressão (MPa) das argamassas dos edifícios alvo de estudo

O valor de resistência à compressão mais elevado ocorreu na amostra 1 do edifício JF, o mesmo se passa quando se analisa o respectivo edifício. Por seu turno, a amostra 2 do edifício CCB é a que apresenta o valor mais baixo (0,91MPa), assim já não acontece quando se trata o edifício no seu todo [55].

A gama de valores nas amostras isoladas oscila entre os 0,91MPa e os 1,92MPa, curiosamente amostras pertencentes ao mesmo edifício (CCB) o que induz à conclusão de que a zona de remoção teve influência no resultado visto que a amostra 2 foi recolhida junto a uma padieira e a amostra 1 foi recolhida na zona lateral de uma janela. A gama de valores nos edifícios oscila entre 1,05MPa no edifício MO e 1,67MPa no edifício JF.

Constata-se ainda que em todos os edifícios a diferença de valores da resistência de compressão não é significativa.

7 Composições desenvolvidas

À semelhança das argamassas antigas, também as novas composições foram sujeitas a um estudo de caracterização.

Inicialmente foram estudadas as matérias-primas que integraram a composição das novas argamassas no que concerne à sua granulometria e à sua massa volúmica.

Após este processo procedeu-se à execução e estudo das novas argamassas. Os ensaios realizados nas novas composições foram divididos em dois tipos: ensaios realizados sobre as argamassas frescas (consistência por espalhamento e massa volúmica) e ensaios realizados sobre as argamassas endurecidas (determinação do módulo de elasticidade, resistência à flexão e resistência à compressão).

7.1 Caracterização das matérias-primas

7.1.1 Análise granulométrica das areias

Foi realizada a análise granulométrica às duas areias em estudo, saibro e areia de rio. Com o intuito de elaborar uma curva final composta pelas duas areias procedeu-se a várias combinações. A curva definitiva foi obtida com 50% de saibro e 50% de areia de rio.

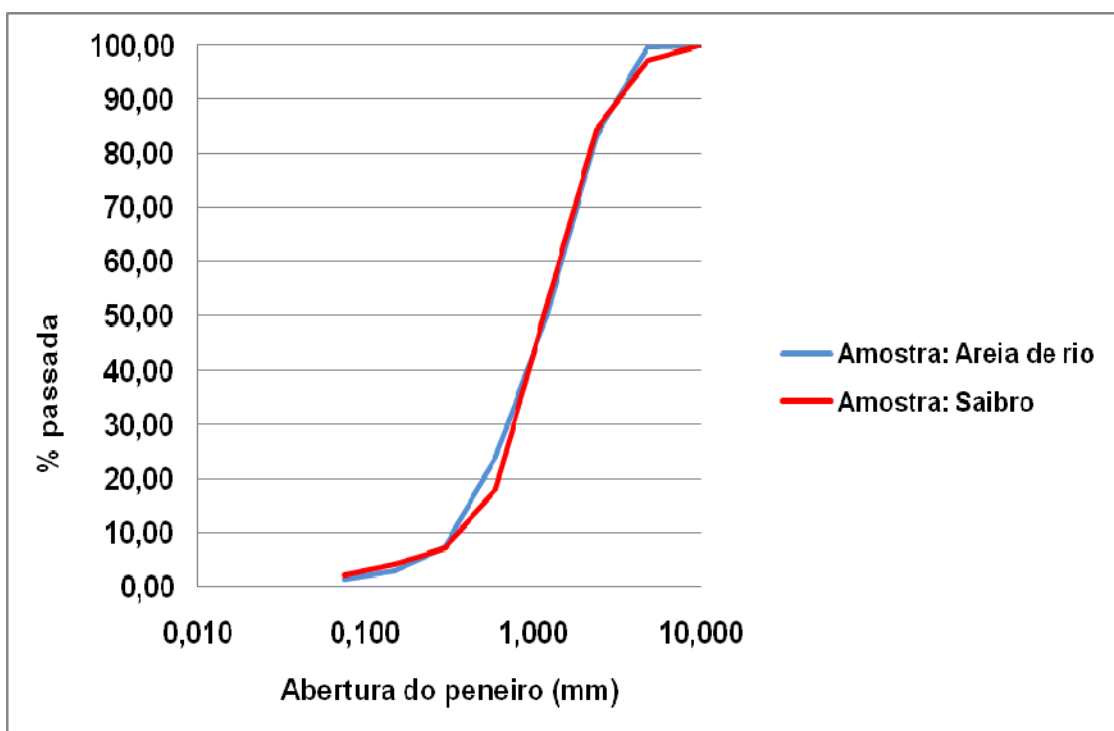


Fig. 53 - Curvas granulométricas da areia de rio e do saibro

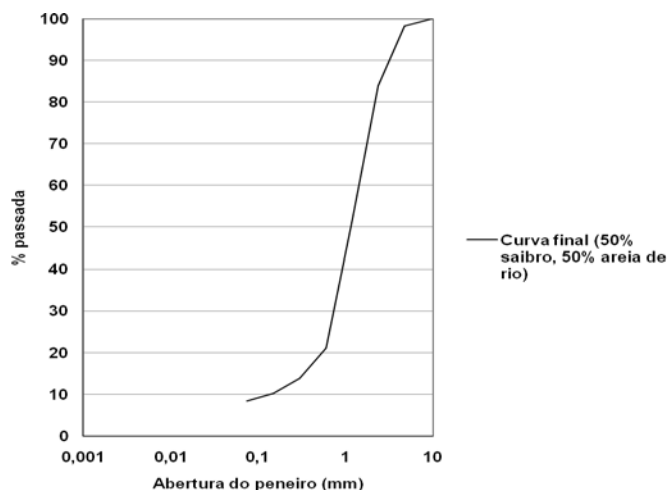


Fig. 54 - Curva granulométrica final (50% saibro, 50% areia de rio)

A peneiração foi obtida para uma amostra das duas areias de 300g seca em estufa na série de peneiros ASTM.

Através da análise gráfica constata-se que as duas areias têm granulometrias muito próximas entre si. Apesar desta semelhança, a curva respeitante à areia de rio apresenta uma maior percentagem de finos.

Devido à semelhança granulométrica 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.

7.1.2 Massa volúmica das matérias-primas

Na Tab. 13 apresentam-se os valores obtidos das massas volúmicas aparentes das matérias-primas usadas na formulação das argamassas.

Tab. 13 - Massa volúmica aparente das matérias-primas

Material	Massa volúmica aparente (g/dm ³)
Areia de rio	1620,32
Saibro	1507,28
Metacaulino	476,07
Cal	469,87

As massas volúmicas obtidas são o resultado médio de três ensaios efectuados para cada um dos materiais estudados.

Constata-se que, entre as duas areias, a areia de rio assume um maior valor de massa volúmica aparente.

No que diz respeito ao metacaulino e à cal, estes apresentam valores semelhantes sendo a massa volúmica da cal ligeiramente inferior.

7.2 Formulações estudadas

Para a presente dissertação foram estudadas quatro formulações diferentes de argamassas de cal. Nas composições foram usadas dois tipos de areia (saibro e areia de rio normal) e uma pozolana (metacaulino). Expõe-se no quadro seguinte as diversas formulações, assinalando qualitativamente as componentes das mesmas:

Tab. 14 - Quadro síntese com a constituição qualitativa das composições desenvolvidas

Argamassa	Materiais contituintes			
	Cal	Metacaulino	Saibro	Areia de rio
COM	X	X	X	
CRM	X	X		X
CORM	X	X	X	X
COR	X		X	x

O traço usado nas argamassas estudadas foi o traço em volume 1:3 para argamassas sem metacaulino e o traço 1:0,5:2,5 para argamassas com metacaulino. O traço 1:3 foi escolhido por ser um traço corrente enquanto que o traço 1:0,5:2,5 foi escolhido devido a resultados prévios obtidos. A quantidade de água de amassadura usada nas argamassas desenvolvidas foi obtida experimentalmente assumindo como objectivo primeiro a boa trabalhabilidade das mesmas. Segue-se um quadro com a relação ponderal de água em função da quantidade de ligante para cada tipo de argamassa.

Tab. 15 – Relação ponderal de água sobre quantidade de ligante para cada argamassa

Argamassa	H2O/Ligante
COM	1,38
CRM	1,21
CORM	1,21
COR	1,79

7.3 Caracterização das novas composições

7.3.1 Execução das argamassas

Numa primeira fase todos os materiais que intervêm na realização dos provetes de argamassas foram devidamente peneirados pelo peneiro nº10 (dimensão da malha, 2mm) (Fig. 55).



Fig. 55 - Areia a ser peneirada

Esta selecção feita pelo peneiro nº2 tem especial importância para as areias, pois possuíam grãos de grandes dimensões, tornando-as mais homogéneas. Estas, ainda foram previamente secas a 105°C.

O procedimento da execução das argamassas foi de acordo com EN 1015-2 [58]. Assim, em primeiro lugar, foram medidas as diversas massas (g) dos materiais a usar para a argamassa em questão numa balança com 0.1g de precisão.

Posteriormente procedeu-se à homogeneização de todos os materiais antes de os colocar no misturador mecânico. Mediu-se o volume de água (ml) a adicionar à mistura^{iv}.

Colocou-se a cuba no misturador mecânico, ainda sem adição de água, de modo a terminar de homogeneizar a mistura. Adicionou-se o volume de água medido durante 15s (Fig. 56) e em seguida misturou-se durante 2m15s (Fig. 57).

^{iv} O volume de água obtido resultou de diversas tentativas tendo em vista a boa trabalhabilidade da argamassa



Fig. 56 - Colocação de água na mistura



Fig. 57 - Homogeneização mecânica da argamassa

Após a primeira fase de homogeneização no misturador, retirou-se a cuba e com a colher de pedreiro limpou-se a face interna do material que ainda estava seco.



Fig. 58 - Limpeza da face interna da cuba

Finalmente, colocou-se novamente a cuba no misturador e homogeneizou-se durante 30s. Terminado este processo determinou-se a massa volúmica (5.2.2) e a consistência por espalhamento da argamassa (5.2.3).

Em seguida procedeu-se ao preenchimento dos moldes prismáticos previamente untados com óleo descofrante.

Colocou-se argamassa até meio dos prismas e em seguida compactou-se manualmente recorrendo a uma vareta dando 25 pancadas em cada prisma.

Completo-se o enchimento dos prismas e deu-se mais 25 pancadas. Colocou-se mais um pouco de argamassa e em seguida pegando no molde deu-se mais 4 pancadas, cada uma sobre cada aresta do molde. Finalmente alisou-se os prismas com a colher de pedreiro e a talocha (Fig. 59).



Fig. 59 - Execução dos prismas

Após este procedimento os prismas foram colocados condicionados com plásticos. Os prismas com metacaulino foram colocados numa sala com 20°C +/-2 e 65% de humidade relativa. Os prismas sem metacaulino foram colocados numa sala com 23°C +/-2 e 50% de humidade relativa (Fig. 60).



Fig. 60 - Condicionamento dos provetes

7.3.2 Argamassas frescas

7.3.2.1 Massa volúmica

A massa volúmica de cada uma das argamassas desenvolvidas foi obtida segundo a norma CEN, EN 1015-6 [42]. Efectuou-se duas medições para cada uma das amostras e calculou-se o valor médio. Na Tab. 16 encontram-se os respectivos valores.

Tab. 16 - Massa volúmica das argamassas

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

Da tabela acima assinala-se que as argamassas CORM e CRM assumem valores semelhantes.

Regista-se ainda que o valor mais baixo pertence à argamassa COM (1969,15 g/dm³) e o valor mais alto pertence à argamassa COR (2037,60 g/dm³). Este último poderá dever-se ao facto de que esta argamassa não tem metacaulino (massa volúmica baixa conforme visto em 7.1.2) e também que a areia de rio é a que assume maior valor de massa volúmica (7.1.2).

7.3.2.2 Consistência por espalhamento

A Tab. 17 reflecte os valores obtidos para o espalhamento das diversas argamassas comparando-os com a quantidade de água usada. Os dados registados foram obtidos recorrendo à média de quatro valores de espalhamento para cada argamassa.

Tab. 17 - Espalhamento (mm) das diversas argamassas

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

Os valores oscilam entre os 119,5 mm para a argamassa COR e os 133,25 mm para a argamassa COM.

O espalhamento da argamassa COM deverá estar relacionado com o facto de que esta argamassa também é a que tem maior quantidade de água. Estes valores poderão ser explicados talvez porque o saibro tem uma percentagem de argila, o que fará com que este funcione, em parte, como ligante.

À semelhança da massa volúmica (7.3.2.1) também as argamassas com areia de rio e metacaulino apresentam valores muito próximos de espalhamento.

Apesar da existência de alguma variação nos valores de espalhamento, este é referente a uma adequada trabalhabilidade das várias argamassas estudadas.

7.3.3 Argamassas endurecidas

7.3.3.1 Módulo de Elasticidade (E)

As tabelas Tab. 18 Tab. 19 Tab. 20, abaixo e respectivas figuras reflectem os valores obtidos na determinação do módulo de elasticidade (E) para as novas formulações. Conforme descrito em 5.2.4 o módulo de elasticidade foi determinado pelo método de frequência de ressonância e pelo ultra sons, este último recorrendo aos transdutores normais e exponenciais. Os valores dispostos tratam-se de valores médios.

Tab. 18 - Módulo de elasticidade (E) por frequência de ressonância aos 28 e 90 dias

Amostra	M.E. por frequência de ressonância			
	28d		90d	
	Emédio (MPa)	D.P.	Emédio (MPa)	D.P.
COM	3810	331	2944	75
CRM	3300	40	2448	35
CORM	2905	153	1673	111
COR	2970	35	2995	52

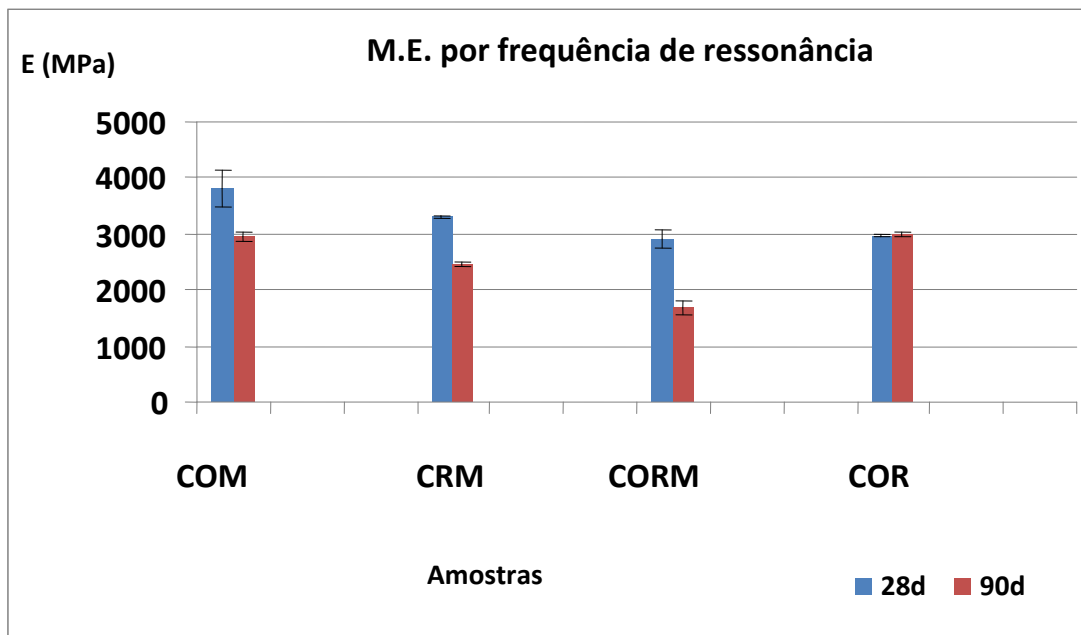


Fig. 61 - Módulo de elasticidade por frequência de ressonância (E) aos 28 e 90 dias

Tab. 19 - Módulo de elasticidade (E) pelo método dos ultrasons com transdutores normais aos 28 e 90 dias

Amostra	M.E. Ultrasons (normais)			
	28d		90d	
	Emédio (MPa)	D.P.	Emédio (MPa)	D.P.
COM	3775	320	2602	37
CRM	3639	70	2280	19
CORM	3390	136	1617	111
COR	3092	93	2570	115

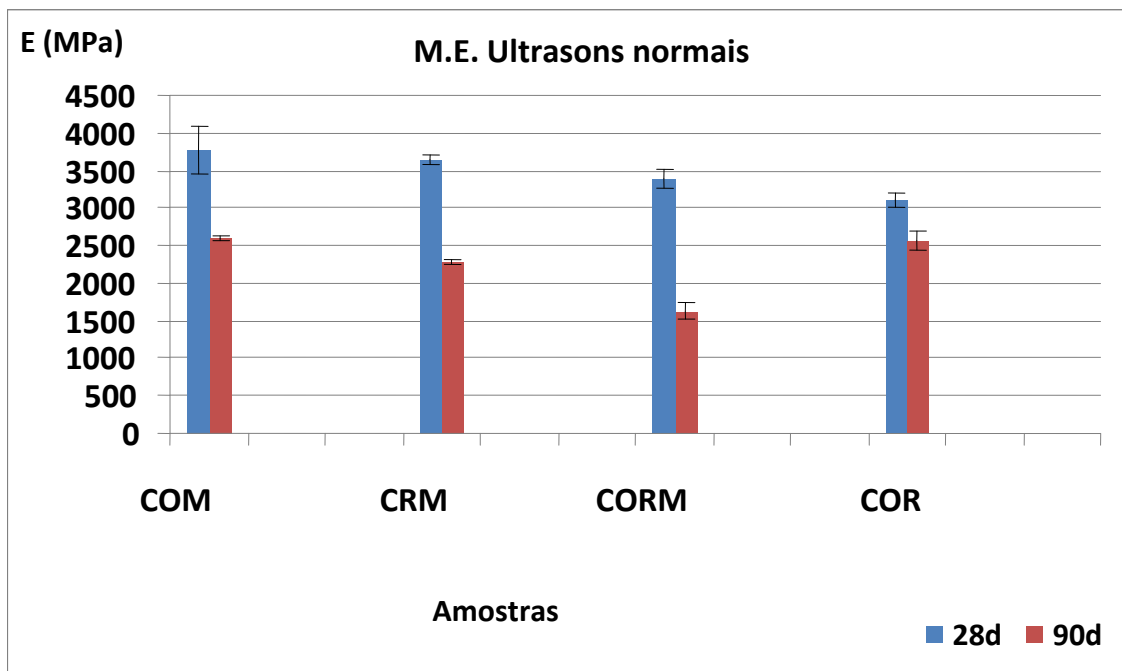


Fig. 62 - Módulo de elasticidade (E) pelo método dos ultrasons com transdutores normais aos 28 e 90 dias

Tab. 20 - Módulo de elasticidade (E) pelo método dos ultrasons com transdutores exponenciais aos 28 e 90 dias

Amostra	M.E. Ultrasons (exponenciais)			
	28d		90d	
	Emédio (MPa)	D.P.	Emédio (MPa)	D.P.
COM	2011	437	2482	203
CRM	2495	76	2035	123
CORM	2145	238	1410	89
COR	2226	82	2482	86

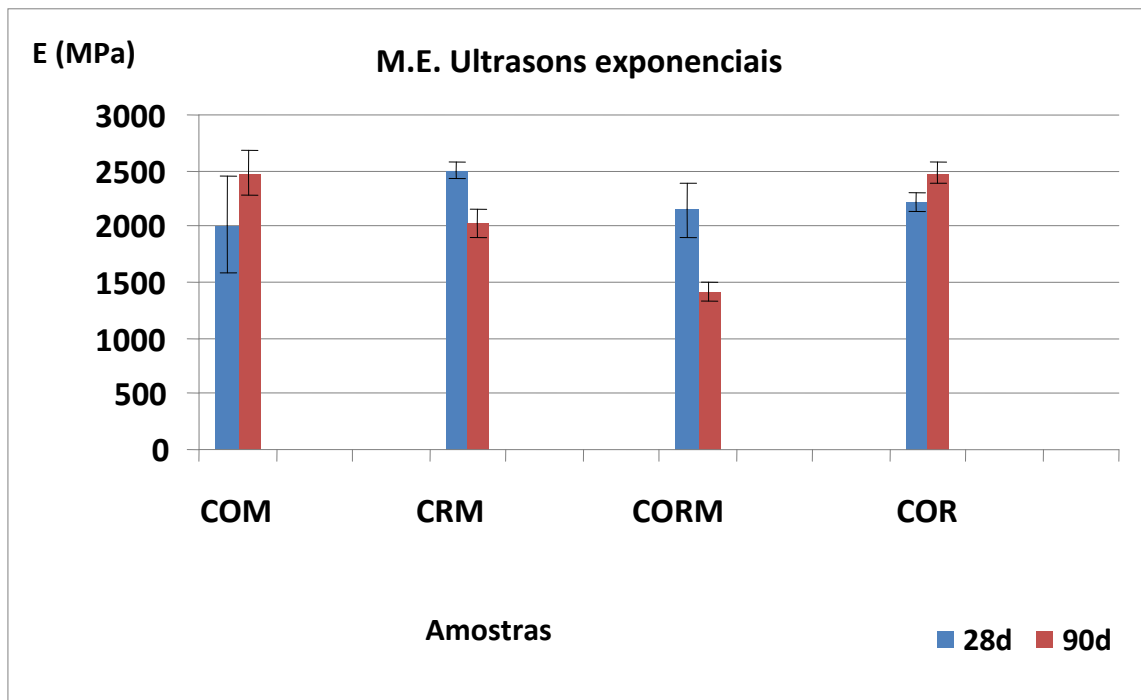


Fig. 63 - Módulo de elasticidade (E) pelo método dos ultrasons com transdutores exponenciais aos 28 e 90 dias

Os valores do módulo de elasticidade por frequência de ressonância aos 28 dias oscilam entre os 2970 MPa para a amostra COR e os 3810 MPa para a amostra COM. Por seu turno, aos 90 dias a oscilação entre o valor máximo (2995 MPa para a amostra COR) e o valor mínimo (1673MPa para amostra CORM) é menor que aos 28 dias.

Regista-se que dos 28 para os 90 dias as amostras com metacaulino diminuíram o seu valor de módulo de elasticidade enquanto que a argamassa sem metacaulino manteve um valor semelhante nas duas idades registando um ligeiro aumento. Este dado revela que o metacaulino, tem, numa primeira fase uma influência positiva no E e numa fase posterior contribui negativamente para o mesmo. Regista-se ainda que as duas areias em separado apresentam melhores resultados que na argamassa com as duas.

No que toca ao módulo de elasticidade medido pelo método dos ultrasons com transdutores normais, o comportamento é em muito semelhante por frequência de ressonância, inclusive os valores finais obtidos. Apenas se regista o decréscimo de valor por parte da argamassa COR entre os 28 e os 90 dias.

No que concerne ao módulo de elasticidade pelo método dos ultrasons com transdutores exponenciais, os valores obtidos apresentam um comportamento parecido aos anteriores no que diz respeito à sua evolução. No entanto, em todas as argamassas estudadas os valores são bastante inferiores aos métodos atrás mencionados revelando que os transdutores exponenciais não deverão ser tão fiáveis como os normais pois a superfície de contacto com a argamassa é muito inferior, logo susceptível de originar valores menos exactos que os transdutores normais.

7.3.3.2 Resistência à tracção por flexão

Apresentam-se em seguida os valores relativos da resistência à flexão (Rf) aos 28 e 90 dias. Estes valores são médios depois de ensaiar para cada tipo de argamassa três prismas.

Tab. 21 - Resistência à flexão (Rf) das argamassas desenvolvidas aos 28 e 90 dias

Amostras	Flexão			
	28d		90d	
	Rf médio (MPa)	D.P.	Rf médio (MPa)	D.P.
COM	0,52	0,08	0,79	0,12
CRM	0,42	0,13	0,41	0,01
CORM	0,37	0,05	0,26	0,08
COR	0,20	0,02	0,20	0,05

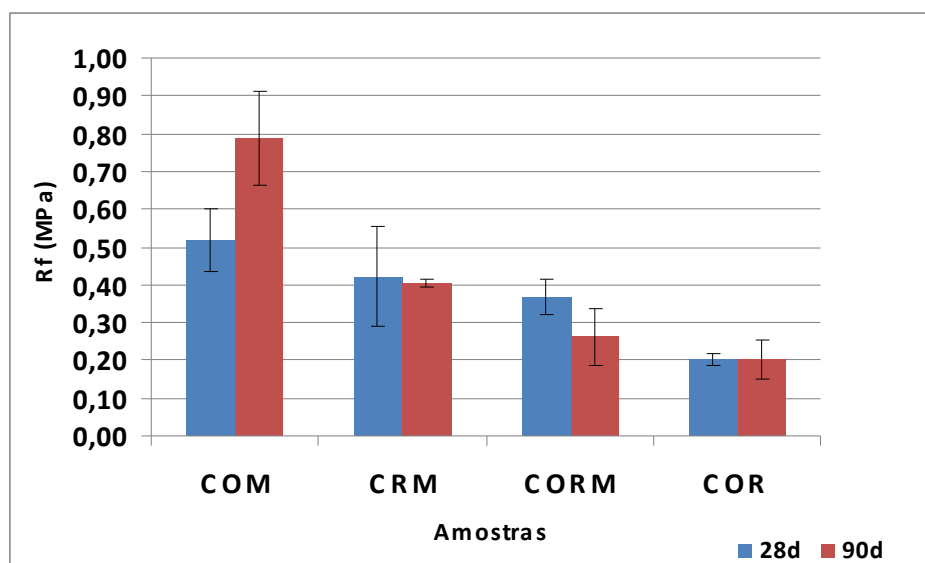


Fig. 64 - Resistência à flexão (Rf) das argamassas desenvolvidas aos 28 e 90 dias

Os valores da resistência à flexão das argamassas desenvolvidas oscilam, aos 28 dias, entre os 0,20 MPa para a argamassa COR e os 0,52 MPa para a argamassa COM [55]. As argamassas com metacaulino, apresentam, todas elas, valores de resistência à flexão superiores à que não tem metacaulino. Regista-se, à semelhança do exposto em 7.3.3.1 que as areias em separado funcionam melhor que as areias juntas.

Analogamente aos 28 dias, as argamassas COR e COM apresentam aos 90 dias, respectivamente o valor mais baixo (0,20 MPa) e mais alto (0,79 MPa). No que toca à evolução

dos 28 para os 90 dias as argamassas CORM e CRM diminuíram um pouco o seu valor de R_f , a argamassa COR não teve qualquer oscilação de valor e a argamassa COM aumentou aproximadamente 1,5 vezes o seu valor de resistência à flexão.

7.3.3.3 Resistência à compressão

Os valores médios de resistência à compressão (R_c) são apresentados seguidamente na Tab. 22. Resultam de seis ensaios para cada tipo de argamassa estudada.

Tab. 22 - Resistência à compressão (R_c) das argamassas desenvolvidas aos 28 e 90 dias

Amostras	Resistência à compressão			
	28d		90d	
	Rc médio (MPa)	D.P.	Rc médio (MPa)	D.P.
COM	2,78	0,08	3,15	0,64
CRM	2,63	0,02	1,82	0,34
CORM	2,18	0,08	1,66	0,03
COR	0,62	0,01	0,65	0,03

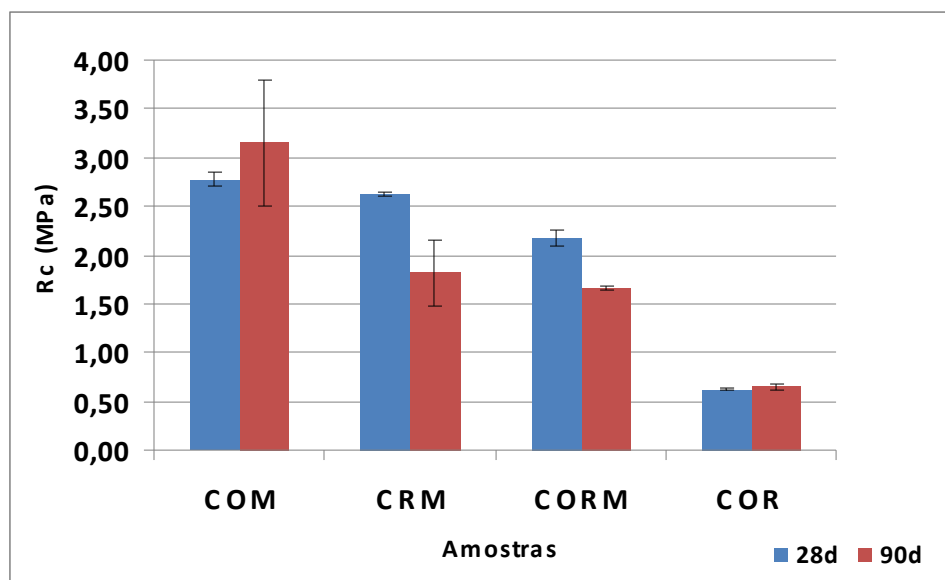


Fig. 65 - Resistência à compressão (R_c) das argamassas desenvolvidas aos 28 e 90 dias

Os valores de resistência à compressão (R_c) aos 28 dias estão compreendidos entre os 0,62 MPa para a argamassa COR e os 2,78 MPa na argamassa COM [55]. Consta-se pela Fig. 65 uma clara diferença entre as argamassas com metacaulino e sem este material, sendo, as

primeiras sensivelmente 3,5 a 4 vezes superiores, o que demonstra a influência do metacaulino. Regista-se ainda que a conjugação das duas areias na mesma argamassa funcionam pior do que quando são usadas sozinhas.

O comportamento aos 90 dias é semelhante aos 28 dias quer nas argamassas com valor mais baixo e mais alto, quer na diferença entre as argamassas com e sem metacaulino. Nesta idade, a oscilação entre valores mínimo e máximo é superior à dos 28 dias.

A evolução da resistência à compressão dos 28 para os 90 dias apresenta uma variação decrescente nas argamassas CORM (de 2,18 para 1,66 MPa) e CRM (de 2,63 para 1,82 MPa). A argamassa sem metacaulino não apresenta, praticamente, variação, demonstrando uma maior regularidade. Por seu turno, a resistência à compressão da argamassa COM aumentou de 2,78MPa para 3,15MPa (cerca de 15% de aumento).

7.3.3.4 Susceptibilidade à fendilhação

Conforme o ponto 5.2.7 deste estudo efectuou-se o cálculo dos coeficientes de resistência à evolução da fendilhação (CREF) e o coeficiente de segurança à abertura da 1ª fenda (CSAF) das duas argamassas ensaiadas (COR e CORM). Os resultados foram obtidos após ensaio de três provetes de cada argamassa.

Tab. 23 - Coeficiente de resistência à evolução da fendilhação (CREF), coeficiente de segurança à abertura da 1ª fenda (CSAF)

Argamassa	F _{máx} (N)	R _t (N)	G (N/mm)	CSAF	CREF (mm)
COR	64,40	103,10	46,10	1,60	0,80
CORM	67,00	207,90	46,80	3,70	0,80

A Tab. 23 ilustra que a argamassa COR tem coeficiente de resistência à evolução da fendilhação 0,8 à semelhança da argamassa CORM. No que toca ao coeficiente de segurança à abertura da 1ª fenda a argamassa COR apresenta o valor de 1,60, cerca de metade do valor para a argamassa CORM.

Segundo Rosário Veiga [47] existem três classes de susceptibilidade à fendilhação (fraca, média e forte). Particularizando, as argamassas COR e CORM pertencem à mesma classe (média). Apenas se regista que o valor relativo à argamassa COR é ligeiramente mais baixo que o valor usualmente obtido nestes ensaios, possivelmente devido à influência do tipo de areia.

Verifica-se também que a força máxima desenvolvida por retracção restringida é idêntica e relativamente baixa nas duas argamassas testadas, indicando uma boa compatibilidade destas argamassas com suportes antigos e com azulejos antigos [59].

8 Ensaaios “*in situ*”

Para além dos ensaios executados em laboratório nas argamassas antigas e nas novas formulações procurou-se executar conforme descrito em 5.3 o ensaio de aderência por tracção. Para tal foram executados painéis com argamassas, com e sem metacaulino, nos edifícios estudados de modo a poder estudar a influência do mesmo.

Contudo, tal não foi possível pois no momento em que se tentou executar a carote por meio de um berbequim o azulejo destacou sempre por completo da parede sem quaisquer vestígios de argamassa. Devido a esta condicionante, num segundo ensaio, apenas se colou as pastilhas directamente na fachada e efectuou-se o arrancamento com o dinamómetro. O ensaio foi efectuado no edifício CCB.

8.1 Execução dos painéis

Os painéis ensaiados foram efectuados na zona verde. Um dos painéis foi realizado com a argamassa COR (cal, areia de Ovar e areia de rio) e um outro com a argamassa CRM (cal, areia de rio e metacaulino). Em ambos foram colocados azulejos antigos que já pertenciam à edificação e azulejos novos.



Fig. 66 - Zonas de recolha de amostras (vermelho e verde) e zona de execução de painel (verde)

Durante a execução dos mesmos, procedeu-se à peneiração das areias conforme descrito em 7.3.1. A aplicação das argamassas decorreu com a aplicação de apenas uma camada com uma variação de espessura cifrada entre os 3 e os 5cm. O azulejo foi aplicado directamente na camada de argamassa. As Fig. 67, Fig. 68 e Fig. 69 referem-se à execução e estado final do painel executado.



Fig. 67 - Execução de um painel



Fig. 68 - Painel com argamassa CRM



Fig. 69 - Painel final com as duas argamassas

8.2 Resultados

Na Tab. 24 encontram-se os valores obtidos para o ensaio efectuado. De registar que a rotura se deu na interface azulejo/argamassa

Tab. 24 - Forças de arranque necessárias à extracção de revestimento

Edifício	Argamassa	Azulejos novos		Azulejos antigos	
		Tensão (MPa)	D.P.	Tensão (MPa)	D.P.
CCB	COR	0,59	0,11	0,48	-
	CRM	0,61	-	0,46	-

Deste modo os valores tabelados acima permitem obter a força de arranque do azulejo, ou seja, a força exercida no dinamómetro vai mobilizar a total resistência do azulejo até à sua rotura.

Assim, constata-se que os azulejos novos oferecem maior resistência mecânica como seria de esperar face aos azulejos antigos.

Desta experiência constata-se a fragilidade do sistema verificando-se uma baixa adesão entre o azulejo e argamassa.

9 Análise Global de Resultados

O presente capítulo estará dividido em três grandes partes. Uma primeira dedicada às argamassas antigas e a segunda parte dirá respeito às composições desenvolvidas e suas aplicações práticas e a terceira incidirá na compatibilização das duas argamassas.

9.1 Análise de resultados às argamassas antigas

Seguidamente analisar-se-ão os resultados obtidos afectos às argamassas antigas.

As Tab. 25 e Tab. 26 e respectivas figuras reflectem o comportamento mecânico estudado para as argamassas antigas.

Tab. 25 - Caracterização mecânica das argamassas antigas

Amostra		Medição transversal (mm)		Medição longitudinal (mm)		Resistência à compressão das amostras (Rc)	
		E médio (MPa)	D.P.	E médio (MPa)	D.P.	Rc médio (MPa)	D.P.
MO	Amst. 1	1142	459	1477	321	1,08	0,23
	Amst. 2	494		10227		1,02	0,05
VO	Amst. 1	1159	-	2338	-	1,30	0,20
JF	Amst. 1	315	522	1305	679	1,64	0,04
	Amst. 2	1054		2265		1,69	0,04
CCB	Amst. 1	1191	387	1377	306	1,92	0,62
	Amst. 2	643		1810		0,91	0,06
DC	Amst. 1	907	-	1489	-	1,37	0,12
DAS	Amst. 1	858	104	765	623	1,41	0,64
	Amst. 2	711		1647		1,44	0,14

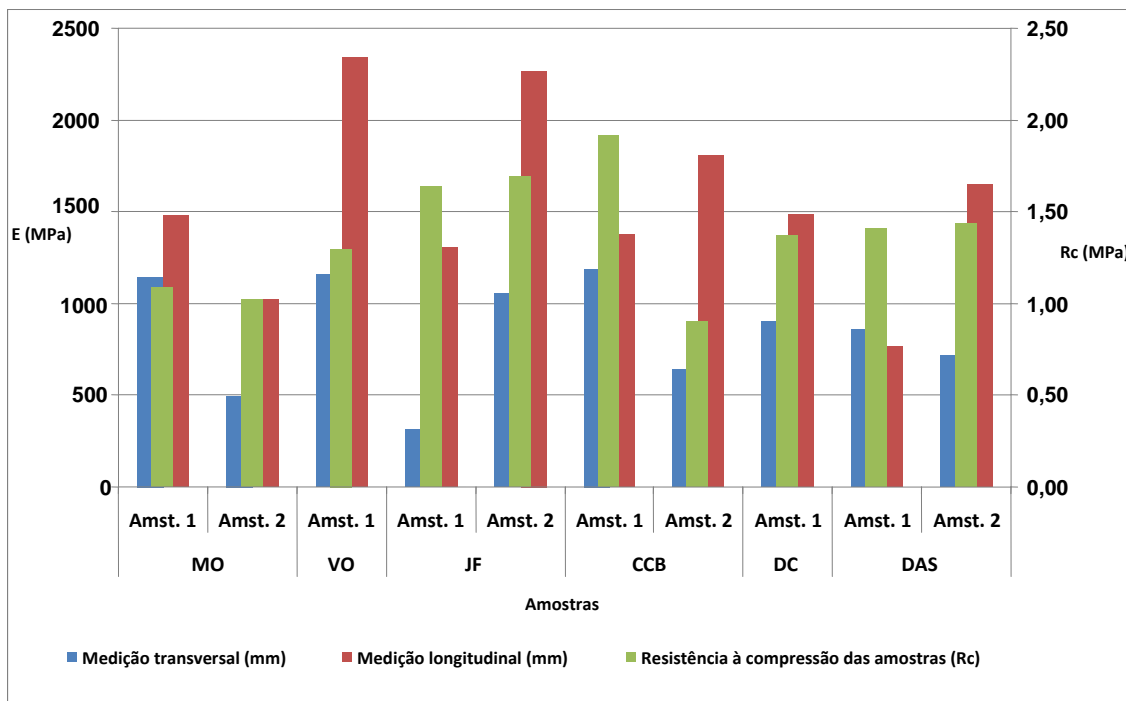


Fig. 70 - Caracterização mecânica das argamassas

Tab. 26 - Caracterização mecânica das argamassas dos edifícios

Edifício	Medição transversal (mm)	Medição longitudinal (mm)	Resistência à compressão dos edifícios (Rc)	
	Emédio (MPa)	Emédio (MPa)	Rc médio (Mpa)	D.P.
MO	818	1250	1,05	0,14
VO	1159	2338	1,30	0,20
JF	684	1785	1,67	0,04
CCB	917	1593	1,41	0,68
DC	907	1489	1,37	0,12
DAS	858	1206	1,42	0,38

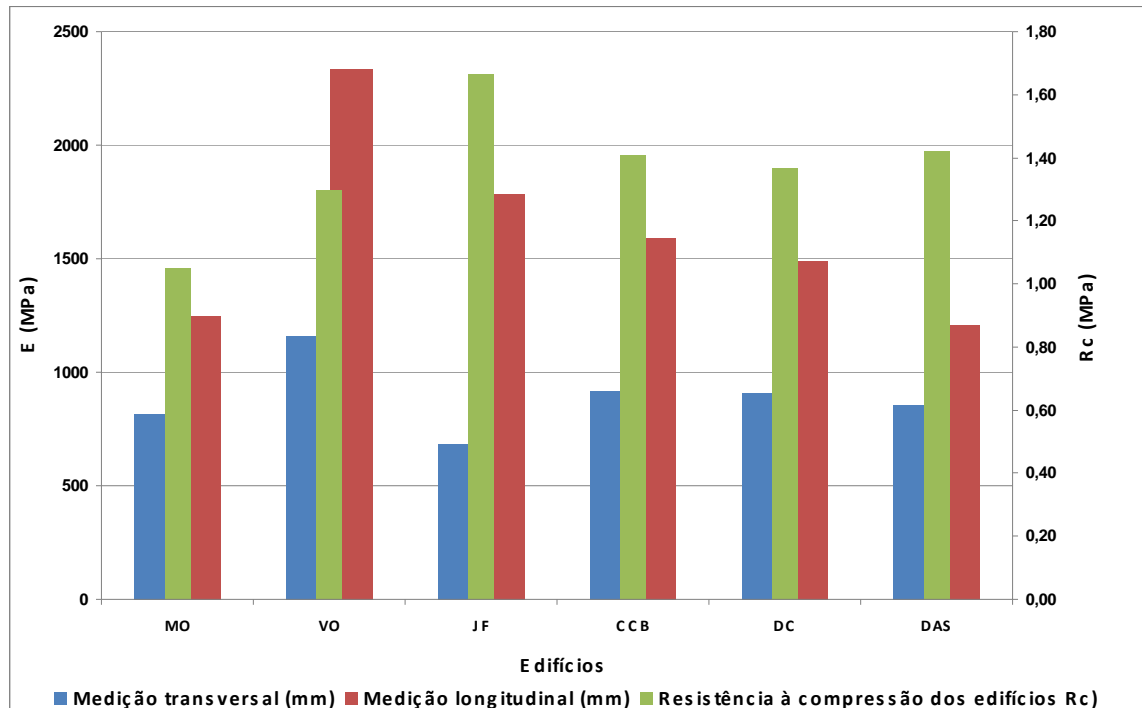


Fig. 71 - Caracterização mecânica das argamassas dos edifícios

Das tabelas acima retira-se que o edifício JF é o que apresenta um melhor comportamento à compressão (1,67MPa) e o segundo maior módulo de elasticidade (1785MPa), sendo que o primeiro é respeitante ao edifício VO, mas deste, apenas foi possível ensaiar uma amostra pelo que poderá não reflectir o real comportamento do edifício.

Sendo todos os edifícios do mesmo lugar geográfico tem-se que a resistência à compressão média de todas as amostras de todos os edifícios estudados é de 1,38MPa. Deste modo a edificação MO é a que mais se distancia do valor médio.

Constata-se ainda que dentro do mesmo edifício as amostras com resistência à compressão mais baixa possuem também módulo de elasticidade mais baixo e vice-versa, com excepção do edifício CCB em que se verifica o oposto.

Inferre-se que o edifício JF é o que apresenta melhor comportamento mecânico médio [55]. Por outro lado no edifício MO as argamassas estudadas revelaram o pior comportamento mecânico. É de salientar ainda a discrepância entre valores do módulo de elasticidade e da resistência à compressão de amostras recolhidas no mesmo edifício, o que induz à conclusão de que a zona de recolha de amostras poderá influenciar de uma forma relevante as suas características mecânicas provavelmente devido a variações no seu estado de conservação resultantes de diferentes graus de exposição a acções agressivas.

9.2 Análise de resultados das argamassas desenvolvidas

Tendo em vista uma análise geral a todos os ensaios realizados nas composições desenvolvidas, serão, em seguida, sintetizados na Tab. 27 todos os resultados obtidos.

Tab. 27 - Características determinadas nas composições desenvolvidas

Características		Amostras				
		COM	CRM	CORM	COR	
Espalhamento médio (mm)		133,25	124,50	124,00	119,50	
Água/ligante		1,38	1,21	1,21	1,79	
Massa Volúmica (g/dm ³)		1969,15	2001,65	2007,10	2037,60	
E (MPa)	Por frequência de ressonância	28d	3810	3300	2905	2970
		90d	2944	2448	1673	2995
	Normais	28d	3775	3639	3390	3092
		90d	2602	2280	1617	2570
	Exponenciais	28d	2011	2495	2145	2226
		90d	2482	2035	1410	2482
Compressão (MPa)		28d	2,78	2,63	2,18	0,62
		90d	3,15	1,82	1,66	0,65
Flexão (MPa)		28d	0,52	0,42	0,37	0,20
		90d	0,79	0,41	0,26	0,20
Retracção		CSAF	-	-	3,70	1,60
		CREF	-	-	0,80	0,80

No que diz respeito às características determinadas para as argamassas frescas, constata-se que a argamassa COR é a que tem menor espalhamento das argamassas estudadas apesar de ser a que apresenta maior relação ponderal água/ligante e maior massa volúmica.

Já, nas características mecânicas das argamassas endurecidas pode verificar-se pela Tab. 27 que a argamassa sem metacaulino (COR) é a que apresenta piores resultados a todos os níveis (módulo de elasticidade, flexão e compressão).

Verifica-se ainda que os resultados para o módulo de elasticidade determinados pelos transdutores normais são sempre superiores aos determinados pelos transdutores exponenciais e assemelham-se mais aos resultados obtidos para o módulo de elasticidade por frequência de ressonância.

De um modo geral o módulo de elasticidade dos 28 dias para os 90 dias decresceu de valor. É interessante verificar que a sua variação nas argamassas com metacaulino (CRM, COM, CORM) foi maior que na argamassa sem metacaulino (COR). O mesmo se passa no caso da compressão e flexão.

A Tab. 28 reflecte a relação compressão/flexão e através dela pode constatar-se que as argamassas com metacaulino apresentam relações mais elevadas que a argamassa sem metacaulino. Idealmente, esta relação deveria ser próxima de 1 devido a fenómenos de fendilhação o que não acontece nas argamassas em estudo como se verifica [55]. Apesar das relações serem elevadas, nas argamassas CRM, e COM a mesma diminuiu cerca de 1,5 vezes ao contrário das argamassas CORM e COR em que se registou um ligeiro aumento.

Tab. 28 - Relação compressão/flexão (Rc/Rf)

Amostras	28d	90d
	Rc/Rf	Rc/Rf
COM	5,38	4,01
CRM	6,24	4,47
CORM	5,93	6,33
COR	3,05	3,22

Resumindo, as argamassas com metacaulino, num espaço de 60 dias, diminuíram as suas propriedades mecânicas de uma forma relevante. Ao passo que a argamassa sem metacaulino teve um comportamento sem grandes oscilações, ou seja, as grandezas determinadas aos 28 dias foram muito semelhantes às determinadas aos 90 dias. É também elucidativo que a argamassa com as duas areias (CORM) tem um comportamento mecânico pior que as argamassas apenas com uma areia.

9.3 Compatibilização entre as argamassas antigas e as novas composições de argamassa

Em seguida será analisada a compatibilidade entre as argamassas antigas e as novas formulações. A Tab. 29 tem como objectivo permitir a comparação entre grandezas mecânicas determinadas (E e Rc) comuns às argamassas antigas e novas.

Tab. 29 - Comportamento mecânico das argamassas antigas e das novas formulações de argamassa

		E (MPa)		E (MPa) 90d			Rc (MPa)
		M. Long.	M. Transv.	Ultrasons		Por frequência de ressonância	
				Normais	Exponenciais		
Argamassas antigas	CCB	1593	917	-	-	-	1,41
	MO	1250	818	-	-	-	1,05
	JF	1785	684	-	-	-	1,67
	DC	1489	907	-	-	-	1,37
	VO	2338	1159	-	-	-	1,30
	DAS	1206	858	-	-	-	1,42
Novas argamassas	COM	-	-	2602	2482	2944	3,15
	CRM	-	-	2280	2035	2448	1,82
	CORM	-	-	1617	1410	1673	1,66
	COR	-	-	2570	2482	2995	0,65

No que concerne à comparação entre o módulo de elasticidade (E) das argamassas antigas e das novas verifica-se que, em geral, nas novas formulações o valor é mais elevado que nas argamassas antigas (cerca de 1,5 vezes superior). No entanto, salienta-se que a argamassa CORM assume valores semelhantes aos das argamassas antigas e que a argamassa do edifício VO assume valores semelhantes aos das argamassas novas.

É possível mais uma vez inferir que os valores obtidos para o módulo de elasticidade pelo método dos ultrasons nas argamassas antigas efectuado no comprimento longitudinal da amostra assumem valores mais condizentes, que os efectuados na medição transversal, com os valores obtidos pelo mesmo método nas argamassas novas.

No que diz respeito à resistência à compressão as argamassas novas CRM e CORM assumem valores próximos das argamassas antigas. É interessante observar que a argamassa COR, sem metacaulino portanto, apresenta cerca de metade do valor registado nas argamassas antigas. Este facto poderá dever-se a que nas argamassas antigas o processo de decarbonatação da cal já está concluído conforme visto em 6.3.2.2 enquanto que nas argamassas novas este mesmo processo ainda se encontra a decorrer. Pode ainda levantar-se a questão se nas argamassas antigas existe algum tipo de material que funcione como ligante à semelhança do metacaulino, pois as argamassas CRM e CORM contêm metacaulino e tem valores muito próximos de Rc.

Quanto à argamassa COM, a sua resistência à compressão é cerca de 2 vezes superior à resistência à compressão das argamassas antigas. Este dado seria expectável pois esta argamassa para além de conter metacaulino também contém saibro.

Assim, esta última argamassa pode ser pouco compatível com os restantes materiais dos edifícios antigos estudados. No entanto, o módulo de elasticidade moderado desta argamassa mostra que ela tem uma deformabilidade próxima das restantes composições, o que reduz o risco de incompatibilidade.

10 Conclusão

O trabalho experimental desenvolvido para a dissertação permitiu avaliar o comportamento mecânico de argamassas antigas oriundas de diversos edifícios da cidade de Ovar. Possibilitou ainda a caracterização de argamassas de cal compatíveis com adição de metacaulino (pozolana artificial).

10.1 Cumprimento dos objectivos

Foram atingidos os objectivos propostos para a dissertação:

- Determinação e sistematização das características mecânicas (módulo de elasticidade e resistência à compressão) das argamassas antigas recolhidas de diversos edifícios na cidade de Ovar.
- Desenvolvimento de argamassas com e sem adições pozolânicas (metacaulino) compatíveis com edifícios antigos.
- Determinação e sistematização das características mecânicas das argamassas desenvolvidas (módulo de elasticidade, resistência à compressão, resistência à flexão, susceptibilidade à fendilhação).
- Avaliação da exequibilidade de diferentes ensaios para a determinação do Módulo de Elasticidade e da exactidão dos valores obtidos
- Execução e ensaio de painéis com as argamassas desenvolvidas nos edifícios em estudo.

➤ Caracterização das argamassas antigas

As argamassas antigas foram sujeitas a análises por DRX e ATG, assim como ensaios mecânicos.

Dada a influência da quantidade de ligante nas características mecânicas das argamassas, foi efectuada uma tentativa de relacionar a percentagem de calcite nas amostras de argamassas antigas com as grandezas mecânicas determinadas. Nesta perspectiva regista-se que a quantidade de calcite para estas argamassas, talvez não seja preponderante no que diz respeito à sua influência quer no módulo de elasticidade quer na resistência à compressão pois, as últimas são abrangidas por uma gama de valores bastante similar enquanto que a percentagem de calcite nas amostras sofre algumas variações.

A análise das características mecânicas poderá indicar que a zona onde se efectuou a recolha de argamassa pode influenciar o seu comportamento mecânico, por exemplo, um dos edifícios analisados possui, nas amostras analisadas, o valor mais baixo e mais alto de resistência à

compressão. Tal pode dever-se a diferenças no estado de conservação, relacionadas com a maior ou menor exposição a acções agressivas. Por outro lado, é também possível que exista alguma variabilidade na composição ou no modo de aplicação das argamassas num mesmo edifício.

Salienta-se ainda que o módulo de elasticidade determinado segundo a medição longitudinal das amostras demonstra ser mais condizente com os valores geralmente obtidos para este tipo de argamassa ao invés do módulo de elasticidade determinado segundo a medição transversal.

À semelhança dos valores do módulo de elasticidade, também os valores obtidos para a resistência à compressão estão congruentes com os valores normalmente obtidos para este tipo de argamassas.

➤ Caracterização das argamassas estudadas

Efectuou-se a caracterização mecânica das argamassas desenvolvidas o que permitiu concluir que as argamassas com adição pozolana (metacaulino) apresentam um melhor comportamento mecânico face às argamassas sem metacaulino para as idades de 28 e 90 dias.

Apesar do melhor comportamento salienta-se que dos 28 dias para os 90 dias, em geral o comportamento mecânico das argamassas com metacaulino diminui de uma forma relevante.

Regista-se também que as argamassas estudadas constituídas apenas com uma areia têm melhor comportamento mecânico do que a argamassa estudada com duas areias (saibro e areia de rio).

Relativamente aos ensaios realizados “*in situ*” deve inferir-se que reside um problema a resolver respeitante à interface argamassa/azulejo.

➤ Compatibilização entre as argamassas desenvolvidas e as argamassas antigas

Após a análise comparativa efectuada às argamassas antigas e as argamassas desenvolvidas no que toca ao seu comportamento mecânico pode concluir-se que as grandezas determinadas em comum assumem valores semelhantes.

No que concerne aos resultados obtidos para o módulo de elasticidade influi-se que as argamassas estudadas tendem a convergir para os valores obtidos nas argamassas antigas.

No que toca à resistência à compressão regista-se também uma semelhança de valores, com excepção da argamassa COM.

Então, conclui-se que existe compatibilidade entre as argamassas antigas e as novas no que diz respeito ao tipo de ligante e ao comportamento mecânico. Prevê-se ainda que haja compatibilidade química entre ambas, dada a semelhança de composições.

Assim, os ensaios realizados indiciam que as argamassas de cal e metacaulino podem ser boas soluções para a recolagem de azulejos nas fachadas de Ovar, ou para colagem de cópias dos azulejos antigos, em intervenções de conservação. Naturalmente, uma verificação completa

da sua adequabilidade implica a avaliação de outros aspectos do comportamento, com destaque para o comportamento à água.

10.2 Desenvolvimentos futuros

- Será importante em trabalhos futuros que se proceda a uma campanha ainda mais vasta de amostras de argamassas antigas de modo a caracterizar com maior sensibilidade o edificado em estudo.
- Terá bastante interesse aprofundar o estudo do metacaulino e a sua empregabilidade neste tipo de argamassas nomeadamente no que diz respeito às suas condições de cura.
- Será útil também a realização de ensaios em argamassas com uma idade superior aos 90 dias e verificar a tendência de evolução que o metacaulino exerce nas suas características mecânicas de modo a perceber melhor a sua influência.
- Dever-se-á executar mais aplicações práticas, quer em painéis quer em fachadas usando diversos tipos de argamassas e proceder à monitorização do seu comportamento.
- Numa óptica de sistematização será interessante o preenchimento de fichas de inspecção elaboradas para o efeito podendo, estas, constituir uma base de apoio para futuras intervenções e/ou de cadastro dos edifícios.
- Por fim, a aplicação deste tipo de argamassas em edifícios novos constitui, hoje, um aliciante, nomeadamente nas suas vantagens ambientais face ao cimento e inclusive uma área de negócio a explorar.

Referências bibliográficas

- [1] TEIXEIRA, Bruno Miguel G. F.; VALENTE, Carla Sofia S. - Monografia – Patologia das Construções – Enquadramento legal e regulamentar, Universidade de Aveiro, 2006
- [2] RODRIGUES, Duarte - A evolução do parque habitacional português – Reflexões para o futuro (INE), Serviço de Estudos Direcção Regional de Lisboa e Vale do Tejo, Instituto Nacional de Estatística, 2003
- [3] PAES AFONSO, F. - Seminário Censos 2001 – Resultados definitivos; Painei Habitacoo; Potencialidade do mercado de Reparaoo e Manutenoo face s características do parque edificado, 2003
- [4] SILVA, Vítor Cóias e, presidente do GECORPA (Grmio das Empresas de Conservaoo e Restauro do Patrimnio Arquitectónico) - artigo de opinioo *in* CONSTRUIR, O jornal de negócios da indústria da construoo, Outubro, 2007
- [5] Instituto da Habitacoo e da Reabilitaoo Urbana
www.portaldahabitacoo.pt
- [6] VÁSQUEZ, Isabel Breda - A reabilitaoo do património edificado no contexto da regeneraoo urbana, 2º Seminário – A intervenoo no Patrimnio. Práticas de conservaoo e reabilitaoo, 2005
- [7] Instituto Camões Portugal
www.instituto-camoes.pt
- [8] VELOSO, A. J. Barros ; ALMASQU, Isabel – Azulejaria de exterior em Portugal, Ed. INAPA S.A., 1991
- [9] VELOSO, A. J. Barros ; ALMASQU, Isabel – O azulejo Português e a Arte Nova, Ed. INAPA S.A. Lisboa, 2000
- [10] O azulejo em Portugal
www.oazulejo.net
- [11] Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
<http://paginas.fe.up.pt/porto-ol/bcr/brasil/.html>
- [12] Rota da Luz – Regioo de Turismo
<http://www.rotadaluz.pt/print2.php?ID=568>
- [13] QUEIRÓS, José - Cerâmica Portuguesa e outros estudos, Editorial Presença, Lisboa, 2002
- [14] Aveiro: O Espaço, o Tempo e as Gentes
<http://aveirana.doc.ua.pt>
- [15] FERREIRA, Maria Isabel Moura. – Revestimentos Azulejares Oitocentistas de Fachada, em Ovar. Contributos para uma Metodologia de Conservaoo e Restauro, Universidade de vora, Julho de 2007
- [16] S, Ana Margarida Vaz Duarte Oliveira – Durabilidade de cimentos-cola em revestimentos cerâmicos aderentes a fachadas, FEUP, Janeiro, 2005

- [17] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). Ceramic tiles – Definitions, classification, characteristics and marking EN 14411:2003 (ISO 13006:1998, modified):2003. Bruxelles, 2003
- [18] WANDERLEY, Moura Ingrid; SICHIERI, Paulo Eduvaldo – Azulejo – Revestimento cerâmico em áreas externas, Departamento de arquitetura e urbanismo, Escola de engenharia de S. Carlos, Universidade de S. Paulo – EESC/USP, 2005
- [19] CARVALHO LUCAS, José Amândio; MENDES ABREU, Miguel Marinho – Revestimentos Cerâmicos Colados – Descolamento, LNEC, Lisboa 2005
- [20] CARVALHO LUCAS, José Amândio – Alguns casos de patologia em Azulejos, LNEC, Lisboa 1988
- [21] VEIGA, M. Rosário – Argamassas compatíveis para intervenção em edifícios antigos. Oficina: Técnicas Tradicionais de Revestimento – C. M. Beja, CENFIC, 2007
- [22] VEIGA, M. Rosário – Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes. Actas do 3º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa, LNEC, Maio de 2003
- [23] MATOS, Vânia C. S. ; CERQUEIRA, Virgínia L. M. – Monografia – Argamassas a usar na reabilitação e reforço de edifícios antigos, Universidade de Aveiro, 2006
- [24] PROJECTO OLD RENDERS – Metodologias para caracterização e conservação de argamassas de revestimento de edifícios antigos. Relatório final, Outubro de 2001
- [25] VELOSA, Ana P. Luísa – Argamassas de cal com pozolanas para revestimentos de paredes antigas, Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia civil pela Universidade de Aveiro, 2006
- [26] European Mortar Industry Organisation
www.euromortar.com
- [27] COUTINHO, A. De Sousa – Fabrico e propriedades do betão, Volume I, LNEC, Lisboa, 1997
- [28] NASCIMENTO PAULO, Raquel Sofia V. M. – Caracterização de argamassas industriais, Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, 2006
- [29] ADAM, Jean Pierre; La Construction Romaine, Matérieux et Techniques, Deuxième Édition, 1989
- [30] ALÇADA, Margarida; CLEMENTE, Ana Marta; SILVEIRA, Ângelo; VALENTE Teresa - Materiais e técnicas tradicionais: rebocos e tintas de cal, Tipos de utilizações – alguns casos de estudo, Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais (DGEMN), Julho, 2006
- [31] MARQUES, Sofia Margarida Figueiredo – Estudo de argamassas de reabilitação de edifícios antigos. Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, 2005
- [32] GUIMARÃES, José Epitácio Passos; GOMES, Rubens Donizeti; SEABRA, Mauro Adamo – Guia das argamassas nas construções. Construindo para sempre com cal hidratada. Associação Brasileira dos Produtores de Cal

-
- [33] NP EN 459-1 2002 Cal de construção: Parte 1: Definições e critérios de conformidade
- [34] VEIGA, M. Rosário; Carvalho, Fernanda – Argamassas de reboco para paredes de edifícios antigos: requisitos e características a respeitar. Cadernos edifícios 02, LNEC, Outubro de 2002
- [35] VEIGA, M. Rosário – As argamassas na conservação. In Actas das 1^{as} Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Avaliação e Reabilitação das construções existentes. Aveiro, 26 de Novembro de 2003
- [36] FREITAS, Vasco Peixoto de; SOUSA, Augusto Vaz Serra e; SILVA, J. A. Raimundo Mendes da - Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos. Coimbra, Março, 2003
- [37] EN 12004 – Adhesives for tiles – Definitions and Specifications, March, 2001
- [38] Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) – Classification des colles à carrelage – Définitions et Spécifications, Cahier 3264 du CSTB, CSTB 2000
- [39] EUROPEAN MORTAR INDUSTRY ORGANIZATION (EMO), EMOdico – Technical dictionary – 3rd Edition, Dezembro de 2001
- [40] EN 1348 – Colas para ladrilhos – Determinação da resistência à tracção de cimentos-cola, Outubro, 2000
- [41] VÁLEK, J; VEIGA, R. – Characterisation of mechanical properties of historic mortars – Testing of irregular samples. Advances in Architecture Series Volume 20, 2005, pages 365-374
- [42] CEN, EN 1015-6 - Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar, 1998
- [43] CEN, EN 1015-3 - Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table), 1998
- [44] CSTB – Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation. Modalités d'essais. Cahier 2669-4 CSTB, Cahiers du CSTB, 341, Paris, Julliet-Août 1993
- [45] CEN, EN 1015-11-Methods of test for mortar for masonry – Part11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar, 1999
- [46] LNEC – Revestimentos de ligantes minerais para paredes. Ensaio de susceptibilidade à fendilhação. Fe Pa 37, LNEC, Lisboa, 1998
- [47] VEIGA, M.R. – Comportamento de argamassas de revestimento de paredes. Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação, Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, LNEC, 1998
- [49] CEN, EN 1015-12 – Determination of adhesive strenght of hardened rendering and plastering mortars on substrates
- [50] GOMES CAVACO, Luís, S. R. – Técnicas de aplicação de argamassas de revestimento em edifícios antigos. Influência no desempenho, Dissertação para a obtenção do Grau de

Mestre em Construção pelo Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Março, 2005

- [52] D. A. SILVA, H. R. Wenk, P. J. M. Monteiro – Comparative investigation of mortars from Roman Colosseum and cistern, *Termochimica Acta* 438 (2005) 35-40,
- [53] ANTONIA MOROPOULOU, Asterios Bakolas, Eleni Aggela Kopoulou – Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis, *Termochimica Acta* 420 (2004) 135 -140
- [54] SILVA, A.S – Nova abordagem na caracterização de argamassas antigas, 3º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Vol. 2, LNEC, Lisboa, Portugal
- [55] A. MOROPOULOU, A. Bakolas, P. Moundoulas, E. Aggela Kopoulou, S. Anagnostopoulou – Strength development and lime reaction in mortars for repairing historic masonries, *Cement & Concrete Composites* 27 (2005) 289-294
- [56] P. DEGRYSE, J. Elsen, M. Waelkens – Study of ancient mortars from Sagalassos (Turkey) in view of their conservation. *Cement and Concrete Research* 32 (2002) 1457-1463.
- [57] ZIAD AL-SAAD, Mohamed A. H. Abdel-Halim – Laboratory evaluation of various types of mortars for the conservation of Qasr al-Bint monument, Petra-Jordan. *Engineering Structures* 23 (2001) 926-933
- [58] CEN, EN 1015-2 – Methods of test for mortar for masonry Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars
- [59] VEIGA, M. Rosário; VELOSA, Ana; MAGALHÃES Ana – Evaluation of mechanical compatibility of renders to apply on old walls based on a restrained shrinkage test. *Materials and Structures*, Vol. 40, nº10, December 2006