

Caraterização de argamassas antigas de Portugal – contributo para a sua correta conservação

Ana Leonor Damas

*Departamento de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica, Portugal,
a.damas@campus.fct.unl.pt*

Maria do Rosário Veiga

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, rveiga@lnec.pt

Paulina Faria

Departamento de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa e CERIS, Portugal, paulina.faria@fct.unl.pt

Resumo

Na reabilitação e conservação de edifícios, as argamassas de revestimento desempenham um papel fundamental e devido à sua exposição e função protetora do substrato são os primeiros elementos do edifício onde é possível observar degradação.

Para a sua correta conservação e preservação é essencial o adequado planeamento da intervenção a realizar, com base no conhecimento detalhado das características que são inerentes às argamassas e às aplicações com elas efetuadas, como a constituição das camadas ou os produtos de reação e degradação presentes.

O presente estudo, integrado no projeto DB-HERITAGE, consiste no levantamento e sistematização das características de argamassas antigas de edifícios portugueses, com base em numerosos estudos anteriores, organizados cronologicamente. A discussão das principais tendências ao longo das épocas e tipos de aplicação possibilita aferir alguns padrões. A identificação de grupos de argamassas de que existe pouca informação mostra a necessidade de, em fases posteriores, se complementarem esses estudos.

Palavras-chave: Argamassa antiga; Conservação; Edifício antigo; Revestimento; Caraterização.

Introdução

As argamassas aplicadas no revestimento de paredes desempenham um papel fundamental na reabilitação e conservação dos edifícios, não só pela sua função de proteção do substrato mas também pela influência muitas vezes decisiva na imagem e na caracterização estética dos edifícios.

Em geral, as argamassas aplicadas em revestimentos antigos são constituídas por argamassas de cal aérea e areia [Veiga, 2006]. A cal aérea é um dos materiais de construção mais antigos e um dos primeiros a ser utilizado em revestimentos [Veiga, 2006], pelos gregos (séc. VII a.C. a II a.C.) [Papayianni 2007; Papayianni 2012], etruscos, romanos (séc. III a V d.C.), que aperfeiçoaram a técnica e combinaram a cal com pó de cerâmica de barro vermelho, conferindo melhor resistência à água e melhor comportamento mecânico às argamassas [Velosa, 2002; Veiga, 2012], e pelos árabes (séc. VII a XII d.C.), que combinaram a cal aérea com o gesso e introduziram uma maior preocupação estética na técnica dos revestimentos [Alvarez, 2005; Silva, 2010]. Por muitos anos, a cal aérea continuou a ser o ligante usado maioritariamente em argamassas de revestimento até que a necessidade de construir em zonas marítimas e fluviais levou o mundo científico a procurar aglomerantes específicos para endurecerem na presença de água [Alvarez, 2005], surgindo então os ligantes hidráulicos: a cal hidráulica, o cimento natural e mais tarde o cimento Portland, que conduziram praticamente à dispensa da utilização da cal aérea nas argamassas [Candeias, 2006].

Nos dias que correm, a crescente (e por vezes desenfreada) preocupação em reabilitar os edifícios tem frequentemente espoletado a tomada de decisões inadequadas, quase sempre resultando na remoção de argamassas antigas, com perda do seu valor estético e técnico (entre outros) e sua substituição por argamassas novas. Para além disso, esta situação ocorre muitas vezes associada a falta de rigor no cumprimento de requisitos fundamentais, como a compatibilidade a nível mecânico, físico e químico entre as argamassas “novas” e as alvenarias antigas que os revestimentos são supostos proteger e conservar [Faria, 2008]. Estes processos traduzem-se em graves insucessos, conduzindo a alterações profundas no funcionamento global das paredes no que diz respeito ao transporte da água e dos sais, a fissuração e destacamento das argamassas [Veiga 2006]. Assim, uma intervenção que inicialmente tinha o intuito de conservar acaba por resultar numa aceleração da degradação. Para uma correta conservação e preservação do património é, por isso, essencial o adequado planeamento da intervenção e é fundamental o conhecimento detalhado das características e constituintes da argamassa a ser intervencionada e do sistema em que está inserida. É essencial conhecer as camadas constituintes, a sua composição e os tipos de produtos de reação e degradação presentes. É necessário também ter sempre presente a função desempenhada, o ambiente de exposição e a origem da amostra de argamassa, o tipo de edifício de que se trata e sua localização para não só extrair conclusões fulcrais para o planeamento da intervenção, mas também para estabelecer tendências relativas a épocas, regiões e técnicas de aplicação. Existe a ideia generalizada de que para se ter o conhecimento científico acerca de uma amostra é necessária e suficiente a sua caracterização química e mineralógica [Veiga, 2001]. Mas uma correta intervenção requer também o complemento dessas análises com ensaios mecânicos e físicos *in situ* e laboratoriais, como resistência à compressão, módulo de elasticidade e absorção de água por capilaridade, com as devidas adaptações das técnicas de ensaio face ao estado (friabilidade e irregularidade) da amostra a analisar. É também sempre necessário ter em conta que a amostra sofreu envelhecimento e não corresponde exactamente à argamassa original.

No âmbito da conservação e preservação do património, o presente trabalho consiste num levantamento e sistematização da informação existente sobre um conjunto de argamassas antigas de edifícios portugueses, caracterizadas em estudos anteriores de vários autores, de modo a permitir extrair tendências relativamente às épocas em que se inserem, bem como

identificar grupos de argamassas de que ainda existe pouca informação para, em fases posteriores, se procurar proceder à sua caracterização.

Síntese de resultados

Para ser possível avaliar as características que uma argamassa de substituição ou reparação deve possuir de modo a que não se comprometa ainda mais o sistema em que esta está inserida, é de extrema importância cruzar um vasto conjunto de características da argamassa antiga. Desta forma, e conforme afirmado anteriormente, foi realizada uma recolha de informação de numerosos casos de estudo que é sintetizada em diversos quadros, por épocas cronológicas principais, nomeadamente dos séculos I-V (quadro 1), século XII (quadro 2), séculos XII-XVII (quadro 3), séculos XVIII-XIX (quadro 4) e séculos XIX-XX (quadro 5). Nestes quadros é possível ter acesso à designação original da amostra, origem e função da argamassa, o seu grau de deterioração, composição em termos de ligantes e agregados, respetivo traço ponderal à data da análise (ligante:agregado), produtos de reação e/ou degradação presentes, bem como respetivas resistência à compressão (em N/mm²) e coeficiente de capilaridade por contacto (em kg/(m².min^{1/2})). Sempre que não está indicado, trata-se de cal aérea calcítica. Nos estudos sintetizados apresentam-se maioritariamente argamassas de revestimento (interior ou exterior) e em menor quantidade argamassas de refeitamento de juntas, assentamento de alvenarias e assentamento de azulejos (neste último caso apenas duas amostras).

Discussão de resultados

Através da análise dos quadros apresentados no capítulo anterior, foi possível reunir um conjunto de tendências na composição das argamassas mediante determinadas épocas e ainda identificar diversas lacunas de informação para que posteriormente estas possam vir a ser colmatadas e permitirem um conhecimento mais abrangente das argamassas antigas de Portugal.

As argamassas dos séculos I a V, correspondentes ao período de ocupação Romana em Portugal (quadro 1), são constituídas, em praticamente todos os casos estudados, por ligante de cal aérea calcítica e agregados siliciosos combinados com fragmentos e pó de tijolo de barro vermelho, material cerâmico que confere propriedades hidráulicas às argamassas de cal aérea. A introdução de pó de tijolo encontra-se mais presente em revestimentos interiores e exteriores e no revestimento de pavimentos, enquanto que os fragmentos cerâmicos incorporam principalmente argamassas com requisitos mecânicos mais elevados (termas, tanques de banhos, reservatórios, cisternas de água e condutas) [Velosa, 2007]. Como se pode verificar, todos os casos desta época apresentam bom estado de conservação precisamente porque a combinação da cal com o material cerâmico desencadeia reações pozolânicas das quais resultam produtos hidráulicos (geis de CSH) [Veiga, 2012] responsáveis pelo melhor comportamento da argamassa a nível mecânico e face à água. Com o final do Império Romano, desencadeou-se uma série de problemas económicos que se vieram a refletir na própria formulação das argamassas [Alvarez, 2005], que foram perdendo qualidade (menor percentagem de cal e decaimento das técnicas romanas).

No que diz respeito ao século XII (quadro 2), verificou-se que as tendências observadas em Portugal são consistentes com o observado em Espanha, nomeadamente no caso da Igreja de San Cernin (séculos XII-XIII), em Pamplona, [Álvarez, 2000], o que vai ao encontro dos factos históricos que comprovam a invasão e domínio da Península Ibérica pelo povo islâmico entre os séculos VII e XII. No caso da Igreja de San Cernin as argamassas de revestimento interior são compostas por ligante de cal aérea calcítica combinado com gesso e agregado (maioritariamente) silicioso, tal como o verificado nos casos recolhidos no mesmo período em Portugal.

Quadro 1 - Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos I-V

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/* Ref. Bibliog.	Amost.	Origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/degradação	Caract. física	
							Rc N/mm ²	CCc kg/(m ² .min ^{1/2})
Villa Romana de Pisões (Beja) /I-IV/ Industrial - Serviços / *1	P1	Revest. <i>caldarium</i>	Sem sinais de degrad.	Cal aérea: agregado quartzítico e xistoso, com pó e fragmentos de tijolo	-	-	-	-
	P2	Revest. <i>praefurnium</i>			1:1	-	-	-
	P3	Revest. <i>apodyterium</i>			1:3	-	-	-
	P4	Revest. <i>peristilio</i>			1:3	Alumino-silicatos de cálcio	-	-
	P5	Revest. salas			1:3	-	-	-
	P6	Revest. exterior <i>natatio</i>			-	Aragonite	-	-
	P7	Revest. interior <i>natatio</i>			-	Carbo-aluminatos de cálcio hidrat.	-	-
	P8	Revest. mausoléu			1:4	Aragonite	-	-
	PM	Revest. moinho			1:4	-	-	-
	PB1	Revest. barragem			1:1	-	-	-
	PB2	Revest. barragem			1:1	Aragonite	-	-
Cetária de Tróia (Grândola, Setúbal) /I-IV/ Industrial - Serviços / *8,9,10,2	CT1	Enchim. parede alvenaria de pedra e mista	Degrad. estética superf.	Cal aérea: areia siliciosa	1:5	Halite	2.5	2.2
	CT2	Revest. alvenaria de pedra e mista		Cal aérea: areia siliciosa; pedra calcária	4:1:12	Aragonite; coloniz. biológicas, halite	4.5	0.4
	BCT	Revest. parede alvenaria de pedra e mista (base cetária)		Cal aérea: areia siliciosa, dolomítica e pó de tijolo	-	Aragonite; cloro-aluminatos de cálcio hidratado, halite	5.5	0.4
	TPh31	Fundação (pavim. cetária)		Cal aérea: agr. silic., frag. e pó de tijolo	-	Cloro-aluminatos de cálcio hidratado	-	-
	TPh34				-	Halite	-	-
	TPh33	Revest. pavim.			-	Aragonite; Halite	-	-

Quadro 1 - Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos I-V (cont.)

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/ Ref. Bibliog.	Amost.	Origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degradação	Caract. física	
							Rc N/mm ²	CCc kg/(m ² .min ^{1/2})
Banhos romanos (Conimbriga, Aveiro) /I-V/ Industrial - Serviços / *3	CON1	Revest. tanque maior norte (natatio)	-	Cal aérea: areia siliciosa, fragm. e pó de tijolo	-	Anidrite; Halite	-	-
	CON2				-		-	
	CON4	Revest. tanque menor oeste			-		-	
	CON5 (int.)				-		-	
	CON5 (ext.)				-		-	
Arco de Jesus (Alfama, Lisboa) /III-V/ Militar / *16, 17	M1	Revest. base infraest. suporte da porta	Sem sinais de degrad.	Cal aérea: areia siliciosa, fragm. basálticos e fossilíferos, fragm. de carvão	-	Calcite; vestígios de fosfato de cálcio	-	0.68
	M2	Revest. interior infraest. suporte da porta			-		-	0.74
Criptóptico de Mértola /IV- V/(Beja) / Militar / *8,9,10,4	AAM05	-	Baixo: sujidade, pulveru- lência	Cal aérea hidrat.: agregado silicioso	1:3	Coloniz. biológica	1.5	0.70
Torre do Rio de Mértola (Beja)/IV-V/Militar / *9, 10,8,4	AAM07	Juntas alvenaria de mármore	Baixo: erosão, pulveru- lência	Cal aérea: agregado silicioso	1:5	Carbo- aluminatos de cálcio hidratado	3.5	0.30
	MT1, MT2	Juntas (MT1 alvenaria de mármore e MT2 alvenaria de xisto)	Degrad. estética superf.	Cal aérea: agr. quartzítico de xisto, fragm. e pó de tijolo	1:2, 1:5	Compostos hidráulicos	3.5 (MT1)	0.3 (MT1)

* 1-Borsoi et al. 2010, 2-Silva et al. 2006, 3-Velosa et al. 2007, 4-Silva et al. 2006 (HWC), 8-Veiga 2012, 9-Magalhães et al.2006, 10-Magalhães et al. 2009, 16-Borges 2013, 17-Borges 2014.

Quadro 2 - Caracterização de argamassas de casos de estudo do século XII

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/ Ref. Bibliog.	Amost.	Origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degradação	Caract. física	
							Rc N/mm ²	CCc kg/(m ² .min ^{1/2})
Castelo de Evoramonte (Évora)/XII/Militar/*9,10	EMT2	-	Baixo: coloniz. biológica	Cal aérea: areia siliciosa e argilosa	1:6	Alumino-silicatos de magnésio hidratados	1.6	-
Igreja Matriz de Mértola (Beja) /XII/ Religioso / *9,10,8,7	AAM06	Int. Mihrab	Médio: manchas humidade	Gesso: cal aérea: agr. siliciosos e aluvionares	1:0,03:0,15	Gesso	3.5	3.3
	MT4 Mihrab	Revest. parede alvenaria de pedra	Degrad. estética superf.	Gesso e cal aérea: agr. siliciosos e aluvionares	1:0.15	-	3.5	3.3
	MT5	Juntas parede alvenaria de pedra			1:3	-	3.3	1
	MT4	Revest. parede alvenaria de pedra			1:4	-	-	-
Mosteiro de Santa Cruz (Centro Histórico de Coimbra) /XII/Religioso / *13	SC	Revest. exterior teto túnel de acesso piso superior do claustro			Sem sinais de degrad.	Cal dolomítica: areia siliciosa	-	-

*7-Silva et al.2010 (IAH), 8-Veiga 2012, 9-Magalhães et al.2006, 10-Magalhães et al. 2009, 13-Santos et al.2014.

A introdução do gesso nas argamassas (quer como ligante único ou combinado com a cal) foi uma técnica introduzida pelos árabes na Europa que marcou este período e que veio trazer importantes modificações ao nível das argamassas, sendo os árabes possuidores de uma elevada técnica construtiva. Dominavam o conceito de hidrofugação do gesso, impedindo que os sulfatos se dissolvessem com a água [Alvarez, 2005]; por isso estas argamassas, nalguns locais de Espanha, eram também usadas no exterior. É de notar que, conforme se havia constatado, não se registou a introdução de elementos cerâmicos em nenhum dos casos de estudo analisados desta época, reforçando a teoria do decaimento da técnica romana com a queda do Império. Apesar dos casos de estudo recolhidos desta época serem bastante conclusivos, pertencem todos ao final do período islâmico (século XII – quadro 2), pelo que seria enriquecedor complementar a investigação com outros casos deste período, anteriores ao século XII.

Quadro 3 - Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos XII-XVII

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/ Ref. Bibliog.	Amost.	Origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degradação	Caract. física	
							Rc N/mm ²	CCc kg/(m ² .min ^{1/2})
Catedral de Évora /XII- XIII/ Religioso / *5,6,7,8	SEV2, SEV 4, SEV 8	Revest. parede alvenaria de pedra	Degrad. estética superf.	Cal calcít. e dolomít.: agreg. siliciosos	1:1.5; 1:2.5; 1:3.5	-	3.3, 3.5 e 2.3	0.3, 0.3, 0.3
	SEV6, SEV 7	Juntas parede alvenaria de pedra		Cal: agr. silício.	1:4; 1:3.5	-	-	-
Castelo de Amieira do Tejo (Nisa, Portalegre) /XIV/ Militar / *7,8,9,10	AM2	Revest. construção de terra	Médio: erosão	Cal calcít. e dolomít.: agreg. siliciosos	1:3	Sulfatos de sódio, de potássio, gesso, hidróxido de sódio	3.6	0.7
	AAM02		Degrad. estética superf.	Cal aérea : areia silic.	1:1.5	-	3.6	0.71
Castelo de Viana do Alentejo (Évora) /XIV/ Militar / *9,10	AAM01	-	Médio: erosão, perda de coesão, pulveru- lência, destaca- mentos	-	-	-	2.4	1.36
Forte de Nossa Senhora da Luz (Cascais, Lisboa) /XV- XVII/ Militar / *8,11	NSL TJ1 - I	Revest. parede Torre Joanina	Degrad. estética superf.	Cal aérea calcítica em todas as argamassas de revestimento, dolomítica na de assentamento: areia siliciosa com vestígios basálticos e carvão	1:2	Silicatos de cálcio	-	3.83
	NSL TJ1 - E				-		3.7	0.98
	NSL TJ2				1:2		1.5	5.84
	NSL TJ3				-		-	-
	NSL TJ4				-		-	-
	NSL BS5	Assent. parede interior Bastões Sul			1:2		1.4	2.73
	NSL BN6	Revest. Bastões Norte			-		0.8	6.45
	NSL BN7				-		2.6	0.45
	NSL MS8	Revest exterior Parede Sul			-		2.1	3.15
	NSL MS9				1:2		2	1.92

Quadro 3 - Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos XII-XVII (cont.)

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/ Ref. Bibliog.	Amost.	Origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degradação	Caract. física	
							Rc N/mm ²	CCc kg/(m ² .min ^{1/2})
(cont.)	NSL MP10	Revest. exterior Parede Oeste			-		2.9	1.26
Forte de São Julião da Barra (Oeiras, Lisboa) /XVI/ Militar / *9,10,12	FSJB	-	Médio: fendas superf., coloniz. biológica, sujidade e erosão	Cal aérea hidratada: areia siliciosa	-	Carbo- aluminatos de cálcio hidratados; halite, cloro- aluminatos de cálcio, gesso	2.3	1.41
Forte do Bugio (Oeiras, Lisboa) /XVI/ Militar / *9,10,12	BSM	-	Alto: erosão, perda de coesão, pulveru- lência, destaca- mentos	Cal aérea com possível adição de gesso e areia de natureza siliciosa	-	Aluminatos de cálcio hidrat., óxidos de ferro, vaterite, aragonite; brucite, etringite, gesso, halite, cloro- aluminatos de cálcio hidrat., monossulfo- aluminatos de cálcio hidrat.	1.8	1.17
	BIM	-			-	Carbo- aluminatos de cálcio hidrat.; etringite, gesso, halite, cloro- aluminatos de cálcio hidrat.	1.1	4.17
Igreja/ Catedral de Elvas (Portalegre) /XVI/ Religioso / *9,10,5,7,8	AAM04	Revest. interior	Degrad. estética superf.	Cal aérea: agr. silic. e calcários	1:3,5	Aragonite; halite	5.9	0.65

Quadro 3 - Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos XII-XVII (cont.)

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/ Ref. Bibliog.	Amost.	Origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degradação	Caract. física	
							Rc N/mm ²	CCc kg/(m ² .min ^{1/2})
(cont.)	SEL 1, SEL 5	Revest. parede alvenaria de pedra		Cal aérea: agr. silic. e calcários	1:2.5; 4.5	-	2.0 e 3.0	1.0 e 0.4
	SEL 6	Juntas parede alvenaria de pedra			1:1.5	-	3.1	0.4
Capela do Castelo de Amieira do Tejo (Nisa, Portalegre) /XVI/ Militar / *9,10,7,8	Ate	-	Alto: manchas humidade, eflorescências, perda de coesão e adesão, sujidade	Cal aérea calcítica: agregados siliciosos	-	-	1.2	0.98
	Ati	-			-	-	2.4	1.23
	AM3	Revest. ext. parede alvenaria de pedra	Degrad. estética superf.		1:5.5	-	2.4	1.2
Igreja Matriz de Viana do Alentejo (Évora) /XVI/ Religioso / *9,10	MAT1B	Revest.	-	-	-	-	2.5	1.0
	MAT3B	Revest.	-		-	-	1.6	0.8
Igreja da Misericórdia de Viana do Alentejo (Évora) /XVI/ Religioso / *9,10	MIS1	Revest. interior	Alto: perda de coesão e adesão, manchas humidade, eflorescências	-	-	-	0.9	1.0
	MIS3A				-	-	0.8	2.6
Edifícios do Centro Histórico de Palmela (Setúbal) /XVII/ Palácio-Residencial / *8	PAL 1	Revest. parede alvenaria de pedra e mista	Degrad. estética superf.	Cal aérea: areia siliciosa e argila	1:12	-	1.2	1.2

Quadro 3 - Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos XII-XVII (cont.)

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/ Ref. Bibliog.	Amost.	Origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degradação	Caract. física	
							Rc N/mm ²	CCc kg/(m ² .min ^{1/2})
Sé Nova de Coimbra (Centro histórico) /XVI/ Religioso / *13	CJ1	Revest. ext. (fingidos de pedra)	-	Cal dolomítica: areia siliciosa	1:2	-	-	-
	CJ2		-			-	13.4	-
	CJ/ Casa paro- quial		-		1:1	-	2.2	1.23
Casa de Sub-Ripas/ Sub- Ribas (Centro histórico de Coimbra) /XVI/ Palácio- Residencial / *13	CS/Reb 1	Revest. exterior (fingidos de pedra)	-	Cal dolomítica: areia siliciosa	1:7	-	-	-
	CS/Reb 2		-		1:3	-	2.2	1.34
Igreja da Misericórdia (Centro de Aveiro) /Final XVI/ Palácio- Residencial / *14	IM1	Assent. azulejos	-	Cal aérea: agregados siliciosos	-	-	0.48	0.30
	IM2	Revest.	-		-	-	1.38	1.06
	IM4	Juntas	-		-	-	-	1.25
Forte dos Oitavos (Cascais, Lisboa) /XVII/ Militar / *9,15	OIT	-	Elevado: erosão, perda de coesão, manchas humida- de, eflores- cências, criptoflo- rescên- cias	-	-	-	0.5	0.21
Casa Seixal (Centro de Aveiro) /XVII/ Palácio- Residencial / *14	CS2	Revest.	-	-	-	-	1.56	0.53
	CS3	Juntas	-		-	-	1.34	0.59

Quadro 3 - Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos XII-XVII (cont.)

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/* Ref. Bibliog.	Amost.	Origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degradação	Caract. física	
							Rc N/mm ²	CCc kg/(m ² .min ^{1/2})
Forte de Santa Marta (Cascais, Lisboa) /XVII/ Militar / *15,9,10,8,16,17	SM1	Revest. parede int. fachada sudoeste	Sem sinais de degrad.	Cal aérea: agreg. silic. e fragmentos de rochas calcárias	1:1,5	Calcite; halite, etringite, aluminatos de cálcio hidratado, fosfato de cálcio	-	0.42
	SM2	Revest. parede exterior fachada sudoeste			1:1,8	Calcite; halite, etringite, aluminatos de cálcio hidrat., fosfato de cálcio	-	0.63
	FSM AM01	Revest.	Baixo: manchas, perda de coesão		-	-	2.4	0.74
	FSM AM02b	Revest.	Alto: erosão, perda de coesão, pulverulência, destacamentos		-	-	1.3	0.88
	FSM zona1	Revest.	Baixo: manchas, perda de coesão		-	-	3.6	0.44
Igreja do Santíssimo Sacramento (Alcântara, Lisboa) /XVII/ Religioso / *18,8	14 amost.	Revest. int. abóbada cúpula e paredes Oeste, Norte e Sul	Degrad. estética superf.	Cal aérea: agreg. siliciosos, basálticos e fragm.de conchas	-	Cloretos e sulfatos e sílico-aluminatos de cálcio	2.45; 3.20	0.89; 1.54
	SE12	Revest. parede alvenaria de pedra (ext.)			1:1.7	-	3.1	0.22

Quadro 3 - Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos XII-XVII (cont.)

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/ Ref. Bibliog.	Amost.	Origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degradação	Caract. física	
							Rc N/mm ²	CCc kg/(m ² .min ^{1/2})
(cont.)	S1	Revest. parede de alvenaria de pedra (int.)			1:?	-	2.4	0.11
Forte de São Bruno (Oeiras, Lisboa) /XVII/ Militar / *9,10,19,8	FSB	Revest. int. parede de alvenaria de pedra	Baixo: fendas superf., coloniz. biológica, sujidade	Cal aérea hidrat.: areias siliciosas e calcárias	-	Vaterite, aragonite; cloro-aluminatos de cálcio hidratado, etringite	7.1	0.18
Santa Casa da Inquisição de Monsaraz (Reguengos de Monsaraz, Évora) /XVII/ Religioso / *9,10	SCI AM06	-	Baixo: Erosão, pulverulência	-	-	-	2.5	1.70
Santuário de Nossa Senhora da Boa Nova (Alandroal, Évora) /XVII/ Religioso / *9,10	AAM03	Revest. campanário (Flor da Rosa)	Baixo: sujidade, coloniz. biológica	-	-	-	1.9	0.3

* 5-Adriano et al. 2007, 6-Adriano et al.2009, 7-Silva et al.2010 (IJAH), 8-Veiga 2012, 9-Magalhães et al.2006, 10-Magalhães et al. 2009, 11-Veiga et al. 2013, 12-Silva et al. 2011, 13-Santos et al.2014, 14-Coroado et al. 2010, 15-Magalhães et al. 2005, 16-Borges 2013, 17-Borges 2014, 18-Silva et al. 2010, 19-Silva et al. 2011.

Os primeiros vestígios da utilização em Portugal de ligante de cal aérea dolomítica na formulação das argamassas verificaram-se no século XII, mas esta tendência foi ganhando mais força a partir dos séculos XVI e XVII [Santos, 2014] (quadro 3). Nos estudos analisados, do século XVI em diante, o agregado deixa de ser essencialmente silicioso, passando a ser também calcário e a conter fragmentos de conchas (nos casos de estudo localizados junto ao mar) e de rochas metamórficas calcíticas.

Quadro 4 - Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos XVIII-XIX

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/ *Ref. Bibliog.	Amost.	Origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/degrad.	Caract. física	
							Rc N/mm ²	CCc kg/(m ² .min ^{1/2})
Palácio de Maiorca (Figueira da Foz, Coimbra) /XVIII/ Palácio- Residencial / *9,10	PMAM04	-	Baixo: contam. salina	Cal aérea: areias siliciosas e calcárias	1:10	Halite; coloniz. biológica, gesso	2.1	1.0
Aqueduto das Águas Livres (Lisboa) /XVIII/ Industrial-Serviços / *9,10	AAL	-	Baixo	Cal aérea: areias siliciosas e basálticas	-	Carbo- aluminatos de cálcio hidrat., aragonite, vaterite; etringites, cloro- aluminatos de cálcio hidrat.	2.2	3.2
Forte de Nossa Senhora da Graça (Eivas, Portalegre) /XVIII/ Militar / *20	1R	Revest. fortaleza, paióis, túnel entre fossos, cisterna e contra- escarpas; juntas fortaleza (2J)	-	Cal calcít. e dolom. a: agr. xist, granít. e quartzít. (argila montmorilonítica amostra 12F).	1:3	Compostos neofom.	1.6	0.3
	2J				1:10	-	-	2.9
	3RE				1:6	-	4	0.9
	3RI				1:2	Compostos neofom.	-	-
	8RE				1:4	-	-	2.2
	8RI				1:2	-	-	5.5
	9RE				1:5	-	1.1	1.3
	17R				1:6	-	1.1	1.6
	12F				1:7	Compostos neofom.	8.3	1
	Parede Pombalina (Lisboa) /XVIII- XIX/ Militar / *9,10				P7	Enchim.	-	Cal aérea: areia quartzítica
P5		Revest. int.	-	nd	-	1	1.3	
Fortes das Linhas de Torres /XIX/ Militar / *8	-	Juntas e revest. paióis alvenaria de pedra	Degrad. estética superf.	Cal aérea: argila e agreg. siliciosos e calcários	1:1:5 a 15	-	-	0.2 a 4.0

Quadro 4 - Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos XVIII-XIX (cont.)

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/ *Ref. Bibliog.	Amost.	Origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degrad.	Caract. física	
							Rc N/mm ²	CCc kg/(m ² .min ^{1/2})
Forte de Sacavém (Loures, Lisboa) /XIX/ Militar / *9,10	FSAM01 (1A)	-	Médio: manchas , coloniz. biológica, fendas superf.	Cal aérea hidratada: areia siliciosa	1:6	Alumino- silicatos de cálcio	1.2	0.70
	FSAM02 (1FT)	-			1:4		1.8	3.60
	FSAM07 (2FT)	-			1:5		3	1.90
Casa Maia Magalhães (Centro de Aveiro) /XIX/ Palácio- Residencial / *14	LMM2	Revest.	-	Cal aérea: agreg. siliciosos	-	Halite	1.28	0.11
Edifícios nº 22 a 24 Largo da Sé Velha (Centro histórico de Coimbra) /XIX/ Palácio-Residencial / *13	LS/Reb1	Revest. exterior	Médio: perda de coesão	Cal dolomít.: areia siliciosa	1:5	-	2.4	1.07
	LS/Reb2			Cal: areia siliciosa	1:4	-	-	-
	LS/Reb3			1:1	-	-	-	

* 8-Veiga 2012, 9-Magalhães et al.2006, 10-Magalhães et al. 2009, 13-Santos et al.2014, 14-Coroado et al. 2010, 20-Silva et al.2016.

Note-se, no entanto, que entre os séculos XII e XX, período longo e com potenciais elementos de estudo (como sejam os edifícios da época pombalina), existe alguma dificuldade em extrair padrões e tendências relativamente à composição das argamassas dado que existem muito poucos estudos realizados face à diversificação de técnicas utilizadas (quadros 3, 4 e 5). Desta forma, a complementação de informação dessas épocas constituirá num excelente contributo para uma melhor caracterização das argamassas antigas.

Para além dos factos relativos às épocas, foi possível constatar que as argamassas de edifícios do tipo militar apresentaram uma maior resistência e durabilidade, sendo as suas composições, no geral, mais ricas em ligante e constituídas essencialmente por cal aérea calcítica e agregado silicioso e calcário, por vezes com grãos basálticos e conchas. A preocupação com a introdução de grãos basálticos nas argamassas de edifícios do tipo militar revela conhecimento e técnica uma vez que estes desencadeiam reações pozolánicas que, embora provavelmente muito lentas, são responsáveis por conferir melhor comportamento mecânico às argamassas.

Quadro 5 - Caracterização de argamassas de casos de estudo XIX-XX

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/ Ref. Bibliog.	Amost.	Origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/degrad.	Caract. física	
							Rc N/mm ²	CCc kg/(m ² .min ^{1/2})
Edifícios nº 1 a 7 na Rua do Colégio Novo (Centro histórico de Coimbra) /Final XIX/ Palácio-Residencial / *13	RCN/P04	Revest. ext.	-	Cal dolomítica: areia siliciosa	1:6	-	-	-
Edifícios em Taipa (Algarve Ocidental) /XIX-XX/ Palácio-Residencial / *21	Ferragudo	Revest. ext. edifícios em taipa	Médio: desprendimentos lamelares, perda de aderência e fissuras	Cal: argila e areia	-	-	3.1	0.33
	Vale da Pinta				-	-	2.9	0.84
	Monte Vidal				-	-	0.7	0.67
	Barragem				-	-	2.2	0.77
	Monte Bravura				-	-	1.8	0.6
	Sargaçal				-	-	0.9	0.1
	Monte Ruivo				-	-	1.9	0.46
	Vale Figueira				-	-	-	0.72
	Aljezur A				-	-	-	0.82
	Bensafrim				-	-	-	0.43
	Benagil				-	-	-	0.58
	Silves				-	-	-	0.48
	Praia Benagil				-	-	-	0.68
	Aljezur B				-	-	-	1.46
	Aljezur C				-	-	-	0.77
Centro de Aveiro – Parede do Pátio /Início XX/ Palácio-Residencial / *14	TM2	Juntas	-	Cal aérea: agregados siliciosos	-	Halite	-	0.21
	TM3	Revest.	-		-	Halite	2.04	0.18

Quadro 5 - Caracterização de argamassas de casos de estudo XIX-XX (cont.)

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/ Ref. Bibliog.	Amost.	Origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/degrad.	Caract. física	
							Rc N/mm ²	CCc kg/(m ² .min ^{1/2})
Edifícios do Centro Histórico de Palmela /Início XX/ Palácio-Residencial / *8	PAL 3	Revest. parede alvenaria de pedra e mista	Degrad. estética superf.	Cal aérea: areia siliciosa e argila	1:12	-	2.7	1.00
Casa Major Pessoa (Centro de Aveiro) /XX/ Palácio-Residencial / *14,22	MP5	Assent. azulejos	-	Cal aérea: agregados siliciosos	-	Halite	1.82	0.42
	MP9	Revest.	-		-	Halite	3.42	0.49
Palácio Bensaúde (Lisboa) /XX/ Palácio-Residencial / *9	BS05-BS06	-	-	-	-	-	2.8	0.89
Fachada do edifício principal do LNEC (Alvalade, Lisboa) /XX/ Industrial-Serviços / *23,24	-	Revest. exterior marmorite, fachada Sul edifício principal	Médio: manchas de sujidade, coloniz. biológica, fissuração, fendilhação, perda de coesão, perda de aderência, erosão	Marmorite: cal aérea, pó de pedra calcária e agreg. calcário.	1:1	Ligeira contam. sulfatos	-	0.48

* 8-Veiga 2012, 9-Magalhães et al.2006, 13-Santos et al.2014, 14-Coroado et al. 2010, 21-Mateus et al. 2014, 22-Velosa et al. 2006, 23-Veiga et al. 2007, 24-Tavares et al. 2008.

Da análise dos casos de estudo de edifícios militares junto à costa foi possível concluir que as argamassas analisadas possuem como único ligante a cal aérea calcítica e apresentam compostos hidráulicos de neoformação resultantes de reações do ligante com agregados siliciosos alterados e basálticos. Trata-se de argamassas muito compactas e resistentes, apesar dos cristais salinos também encontrados no seu seio. As argamassas dos edifícios religiosos apresentam composições com dosagens de ligante intermédias e apresentam também uma maior variedade no que diz respeito aos ligantes e agregados utilizados na sua formulação, claramente selecionados para fazer face às funções estéticas e decorativas.

Relativamente aos edifícios do tipo palácio/residencial e industrial/serviços existem algumas lacunas relativamente à informação disponibilizada, sendo que um estudo complementar de amostras de argamassa desse tipo de edifícios (como por exemplo edifícios correntes da época pombalina, cuja construção é muito relevante no contexto nacional devido às características anti-sísmicas originais) seria um contributo importante a integrar a base de dados de materiais de construção com interesse histórico e patrimonial que constitui o projeto DB-HERITAGE (Projeto PTDC/EPH-PAT/4684/2014, em curso). É ainda de salientar que argamassas dos edifícios do tipo palácio/residencial exibem no geral um traço mais fraco em ligante e por vezes incorporação de argila. Muito pouca informação surge acerca da caracterização de argamassas de assentamento de azulejo, técnica também tão característica do património histórico português.

Por último, constata-se que a maior parte dos numerosos casos reunidos no presente trabalho pertencem às regiões Centro e Alentejo de Portugal, sendo que uma análise de tendências na composição das argamassas antigas mediante as regiões seria possível com a complementação e alargamento do estudo às regiões Norte e mais Sul de Portugal.

Conclusões

O presente estudo permitiu, através do levantamento e sistematização de diversos casos de estudo anteriores, reunir um conjunto de características relativas às argamassas de edifícios antigos de Portugal, ao longo de diferentes épocas, para que, através do profundo conhecimento da sua composição e comportamento, seja possível contribuir para a evolução das técnicas de preservação e conservação existentes. Dessa forma a ciência e a técnica contribuem para a preservação efetiva do património ao nível das argamassas de revestimento.

No geral, e independentemente dos períodos analisados, verificou-se que as argamassas antigas são maioritariamente constituídas por cal aérea calcítica e agregados siliciosos. A utilização de fragmentos e pó de tijolo de barro vermelho, responsáveis por garantir uma maior resistência a nível mecânico e à absorção de água, constituíram uma tendência na era romana (I-V), técnica que acabou por cair em desuso com a queda do império, dando lugar a argamassas mais pobres. O período islâmico (VII-XII) foi marcado pela introdução na formulação das argamassas de gesso combinado com cal, nomeadamente no interior, reforçando a forte preocupação com a vertente estética característica deste período. No exterior, verificou-se o uso de cal aérea como único ligante. No entanto, e visto que as amostras analisadas são apenas respeitantes ao século XII (final do período islâmico), será possível extrair melhores conclusões através de estudos complementares relativos a esta época. Os estudos de argamassas antigas entre os séculos XII e XX apontam para a conclusão de que quanto mais recente o edifício, menor a quantidade de ligante na formulação da argamassa. Foi possível verificar que a composição das argamassas antigas de Portugal encontra-se em conformidade com argamassas contemporâneas de outras regiões da Europa, como é o caso das amostras do século XII da Igreja de San Cernin, em Espanha

Para além das tendências verificadas no que diz respeito às várias épocas, o presente estudo permitiu também a identificação de lacunas de informação que, ao serem colmatadas, constituirão um excelente contributo resultante do projeto DB-HERITAGE. Ficou clara a necessidade de realização de estudos complementares respeitantes a amostras de argamassas antigas do período islâmico, argamassas de edifícios correntes (nomeadamente do período pombalino, época muito relevante em termos construtivos), argamassas de assentamento de azulejos (que poderão constituir uma importante fonte de informação relativa à composição das argamassas dos séculos XVII, XVIII e XIX) e ainda argamassas antigas de regiões a Norte e mais a Sul de Portugal, regiões com pouca informação recolhida até à data.

Agradecimentos

O trabalho insere-se no projeto DB-HERITAGE - Base de dados de materiais de construção com interesse histórico e patrimonial (PTDC/EPH-PAT/4684/2014) financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia de Portugal e no projeto PRESERVE – Preservação de revestimentos do Património construído com valor cultural, do LNEC (2014-2018).

Referências bibliográficas

- Adriano, P. et al. (2007). Microscopic characterisation of old mortars from the Santa Maria Church in Évora. In 11th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, Porto, Portugal.
- Adriano, P. et al. (2007). Mineralogical comparison study of old mortars from southern Portugal cathedrals (Évora and Elvas). *Materiais*, University of Oporto.
- Adriano, P. et al. (2009). *Microscopic characterisation of old mortars from the Santa Maria Church in Évora*. *Materials Characterization*, nº 7, vol. 60, Elsevier Ltd., 610-620.
- Álvarez, J.I. et al. (2000). *A study of the ancient mortars in the north tower of Pamplona's San Cernin church*. *Cement and Concrete Research*, nº 9, vol. 30, Elsevier Ltd., 1413-1419.
- Alvarez, J.; Sequeira, C.; Costa, M. (2005). Ensinaamentos a retirar do passado histórico das argamassas. 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa.
- Borges, C.; Silva, A. S.; Veiga, M. R. (2014). *Durability of ancient lime mortars in humid environment*. *Construction and Building Materials*, vol. 66, Elsevier Ltd., 606-620.
- Borges, C. et al. (2013). *Historical Heritage: A Study to Conservation*. *Materials Science Forum*, vol. 730-732, Trans Tech Publications, 604-610.
- Borsoi, G. et al. (2010). Chemical, Mineralogical and Microstructural Characterization of Historical Mortars from the Roman villa of Pisões, Beja, Portugal. In HMC2010 2nd Historic Mortars Conference and RILEM TC 203-RHM Final Workshop 22-24 September 2010, Prague, Czech Republic.
- Candeias, A. E. et al. (2006). Characterization of ancient mortars: present methodology and future perspectives. In Proc. Workshop on Chemistry in the Conservation of Cultural Heritage: present and future perspectives, Perugia, Italy.
- Coroado, J. et al. (2010). *Characterization of renders, joint mortars and adobes from traditional constructions in Aveiro (Portugal)*. *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 4, Taylor & Francis Group, 102-114.
- Faria, P.; Henriques, F.; Rato, V. (2008). *Comparative evaluation of lime mortars for architectural conservation*. *Journal of Cultural Heritage*, nº 3, vol. 9, Elsevier Ltd., 338-346.
- Magalhães, A. C.; Veiga, M. R.; Costa, D. (2005). Caracterização do estado de conservação de revestimentos de paredes antigas através de ensaios "in situ". Dois casos de estudo. In VI Simposio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas (SBTA), Florianópolis, Brasil.
- Magalhães, A. C.; Veiga, M. R. (2006). Avaliação da resistência de amostras de argamassas históricas recolhidas em obra. Metodologia e correlação de resultados. Lisboa: LNEC. Relatório 259/06 - NRI.
- Magalhães, A. C.; Veiga, M. R. (2009). *Caracterización física y mecánica de los morteros antiguos. Aplicación a la evaluación del estado de conservación*. *Materiales de construcción*, nº 295, vol. 59, Instituto Eduardo Torroja, 61-77.
- Mateus, L.; De Brito, J.; Veiga, M. R. (2014). Characterisation of external renderings of rammed earth construction in Algarve. *Earthen Architecture: past, present and future: proceedings of the International Conference on Vernacular Heritage, Sustainability and Earthen Architecture*, Valencia, Spain.
- Papayianni, I.; Stefanidou, M. (2007). *Durability aspects of ancient mortars of the archeological site of Olynthos*. *Journal of Cultural Heritage*, nº 2, vol.8, Elsevier Ltd., 193-196.

Papayianni, I.; Pachta, V.; Stefanidou, M. (2012). *Analysis of ancient mortars and design of compatible repair mortars: The case study of Odeion of the archaeological site of Dion*. Construction and Building Materials, vol.40, Elsevier Ltd., 84-92.

Santos, A. R. et al. (2014). Os revestimentos do centro histórico de Coimbra: A caracterização de argamassas de revestimento de paredes. In I Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento, Universidade de Coimbra.

Silva, A. S. et al. (2006). *Characterisation of roman mortars from the archaeological site of Tróia (Portugal)*. Materials Science Forum, vol. 514-516, Trans Tech Publications, 1643-1647.

Silva, A. S. et al. (2006). Characterization of Roman mortars from the historical town of Mértola. In HWC 2006 International Conference on Heritage, Weathering and Conservation, Madrid, Spain.

Silva, A. S. et al. (2010). *Characterization of historical mortars from Alentejo's religious buildings*. International Journal of Architectural Heritage, nº 2, vol.4, Taylor & Francis Group, 138-154.

Silva, A. S. et al. (2010). Physico-chemical characterization of the plasters from the church of Santíssimo Sacramento in Alcântara, Lisbon. 2nd Conference on Historic Mortars - HMC 2010 and RILEM TC 203-RHM final workshop, Prague, Czech Republic.

Silva, A. S. et al. (2011). *Mineralogical and chemical characterization of historical mortars from military fortifications in Lisbon harbour (Portugal)*. Environmental Earth Sciences, nº 7, vol. 63, Springer-Verlag, 1641-1650.

Silva, A. S. et al. (2016). Characterization of Mortars from the Fort of Nossa Senhora da Graça, Elvas (Portugal) to support the conservation of the monument. In HMC 16 4th Historical Mortars Conference, Santorini, Greece.

Tavares, M. L. et al. (2008). Consolidation of renderings simulating stone in the façade of LNEC's building. Stone Consolidation in Cultural Heritage, International Symposium, Lisbon, 121-129.

Veiga, M. R. et al. (2001). Methodologies for characterisation and repair of mortars of ancient buildings. In International Seminar of Historical Constructions, Universidade do Minho, Guimarães.

Veiga, M. R. (2006). *Os revestimentos antigos e a identidade dos edifícios*. Arquitectura Ibérica, Reabilitação, nº12.

Veiga, M. R. (2006). Intervenções em revestimentos antigos: conservar, substituir ou...destruir. In 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de edifícios (PATORREB), Porto.

Veiga, M. R. (2007). Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos. Programa de Investigação e Programa de Pós-graduação para a obtenção do título de Habilitação para o Exercício de Funções de Coordenação de Investigação Científica, LNEC, Lisboa.

Veiga, M. R.; Tavares, M. L.; Magalhães, A. C. (2007). Restauro da fachada em marmorite de cal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Lisboa. Materiais, métodos e resultados. VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas (SBTA), Recife, Brasil.

Veiga, M. R. (2012). Argamassas de alvenarias históricas. Funções e características. Conferência Internacional sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria, UNL, Campus de Campolide, Lisboa.

Veiga, M. R. et al. (2013). *Characterization of Renders and Plasters from a 16th Century Portuguese Military Structure: Chronology and Durability*. Restoration of Buildings and Monuments, nº 4, vol. 19, 223-238.

Velosa, A. L.; Veiga, M. R. (2002). Use of additivated lime mortars for old building rehabilitation. Adapted test methods. In 9th International Conference on the Durability of Building Materials and Components, Brisbane Convention Centre, Brisbane, Australia.

Velosa, A. L.; Coroado, J.; Rocha, F. (2006). Characterization of Stone and Mortar Decay - Casa Major Pessoa, Aveiro. In (HWC 2006) International Conference on Heritage, Weathering and Conservation, Madrid, Spain.

Velosa, A. L. et al. (2007). *Characterization of roman mortars from Conímbriga with respect to their repair*. Materials Characterization, nº 11-12, vol. 58, Elsevier Ltd., 1208-1216.