

Estudo de Argamassas do Convento dos Capuchos

Bernardo Rodrigues Mendonça Aguiar de Matos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientadores:

Professora Doutora Ana Paula Patrício Teixeira Ferreira Pinto França de Santana

Doutor Bruno Monteiro Sena da Fonseca

Júri

Presidente: Professor Doutor Vítor Faria e Sousa

Orientador: Doutor Bruno Monteiro Sena da Fonseca

Vogal: Professor Doutor Augusto Martins Gomes

Vogal: Doutora Bruna Amarílis da Palma e Silva

Outubro de 2021

Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

À Professora Doutora Ana Paula Ferreira Pinto por ter aceite o desafio de me orientar e acompanhar neste último capítulo académico. Pela transmissão de conhecimento, atenção, apoio e capacidade de melhoria constante desta dissertação.

Ao Doutor Bruno Sena da Fonseca, pelo apoio e disponibilidade, com grande preponderância na parte experimental. Pela paciência e todo o tempo despendido a acompanhar as diversas fases desenvolvidas ao longo deste trabalho.

À empresa Parques de Sintra Monte da Lua, S.A. (PSML) pelo apoio ao desenvolvimento da presente dissertação no âmbito do protocolo estabelecido entre o IST, a ADIST e a PSML para a colaboração no "Restauro dos Revestimentos do Conjunto Edificado do Convento dos Capuchos.

Aos meus colegas Bruno Marques e Giorgio Gião, por todo o companheirismo e capacidade de trabalho em equipa. Foi um gosto ter partilhado tantas horas no laboratório na vossa companhia.

Aos meus amigos – André Pinto, Catarina Belo, Francisco Rato, Inês Figueiredo, Inês Guerreiro, João Azevedo, Neuza Gomes, Ricardo Luz, Ricardo Raimundo e Tiago Pereira – inexecíveis e que sempre me apoiaram de forma incondicional.

Aos meus amigos de infância – Diogo Salgado, Francisco Osório, Miguel Gil, Miguel Mello, Miguel Mendes, Pedro Miller, Rita Nabais, Sara Ferrão e Tomás Amador – por estarem presentes em todos os momentos e acompanhado a minha evolução de perto.

Um agradecimento especial à minha namorada, por todo o amor, amizade, compreensão, paciência e capacidade de tornar tudo mais fácil e positivo. Inês Teixeira, muito obrigado por conseguires arrancar-me o mais sincero dos sorrisos e nunca me largares a mão. És um exemplo de resiliência e tenho muito orgulho em ti. Contigo por perto a vida faz mais sentido.

Ao meu pai por todos os ensinamentos e valores transmitidos, principalmente o espírito de missão e capacidade de trabalho.

Ao meu irmão Gonçalo, por conseguires interpretar-me como poucos e teres uma capacidade altruísta nas diversas tomadas de decisão em família.

Ao meu irmão Guilherme, por seres uma força da natureza e ensinares-me todos os dias que é possível atingir o que ambicionamos.

À minha mãe, um exemplo de vida e superação constante. Muito obrigado por estares presente em todos os momentos e garantido que nada nos falta. Obrigado por me proporcionares todas as condições e oportunidades para escolher e seguir o meu caminho. Obrigado por todo o amor, carinho, paciência e por seres o meu anjo da guarda.

Por fim, um agradecimento especial ao meu avô Manuel Lourinho de Matos, à minha avó Idília Aguiar de Matos e ao nosso amigo José Valadares. Dedico-vos esta dissertação e tudo o que ela representa. Sei que estão a olhar por mim.

Resumo

O Convento dos Capuchos foi construído para albergar uma ordem franciscana, tendo sido fundado em 1560. Despojado de bens de luxo, os monges viviam num Convento construído no alto da Pena, constituído por paredes de alvenaria desenvolvidas pelos afloramentos de rochas graníticas, vãos pequenos, corredores estreitos e dormitórios com dimensões mínimas.

Com diversos proprietários desde que foi construído, actualmente encontra-se tutelado pelo Parques de Sintra – Monte da Lua, S.A, que garante a gestão, controlo, conservação e restauro de um bem integrado na Paisagem Cultural de Sintra, património mundial da UNESCO.

Esta dissertação incidiu no estudo e caracterização de argamassas de cal aérea, recolhidas em zonas e compartimentos distintos do Convento. Para complementar a análise de resultados obtidos, realizou-se uma procura da informação relativa ao Convento e outros monumentos religiosos da mesma época de construção, em Portugal. O intuito foi identificar correlações entre características das argamassas e analisar os resultados por analogia.

A caracterização das argamassas históricas foi realizada no laboratório DeCivil, no Instituto Superior Técnico. A metodologia implementada incluiu as características de absorção de água, a caracterização colorimétrica, caracterização do agregado e estimativa da proporção ligante/agregado das argamassas.

A maioria das amostras revelaram resultados associados às características de argamassas históricas, desde a composição e granulometria até ao comportamento em contacto com água. No entanto, uma das amostras revelou resultados distintos e equiparáveis a argamassas mais recentes.

Os resultados obtidos contribuem para o conhecimento dos materiais utilizados na construção do Convento e para eventual futura formulação de argamassas compatíveis.

Palavras – Chave:

Convento dos Capuchos – Argamassas de cal – Constituição mineralógica – Granulometria – Propriedades físicas – Compatibilidade

Abstract

The Capuchos Convent was founded in 1560, to house a Franciscan order. Stripped of luxury goods, monks lived in the Convent built at the Pena's top, with masonry walls were developed by the outcrops of granite rocks, small spans, narrow aisles and minimal dimensions bedrooms.

Until nowadays with several owners, Parques de Sintra – Monte da Lua, S.A is the entity that now assumes the management, control, conservation and restoration of the building, classified as UNESCO World Heritage.

This dissertation was focused on the lime mortars study and characterization, collected in different zones and compartments of the Convent. To complement the analysis of the results, a search for information on the Convent and other religious monuments from the same period of construction in Portugal was carried out. The aim was to identify correlations between mortar characteristics and analyze the results by analogy.

The historic mortars' characterization took place in the DECivil laboratory, at the Instituto Superior Técnico. The implemented methodology was based on the study of the mortars' behavior with water, colorimetric characterization, aggregator characterization and binder/aggregate ratio used on its formulation.

Most samples showed results associated with the characteristics of historical mortars, from composition, granulometry to behavior in contact with water. However, one of the samples showed different results, comparable to a more recent mortar.

The results achieved intend to help on the intrinsic knowledge of materials used in the Convent construction, so that its rehabilitation and conservation is carried out based in compatible mortars utilization.

Key Words:

Convent of the Capuchos – Mortars – Composition – Characterization

Índice geral

Declaração	iii
Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
Índice geral.....	x
Índice de Tabelas	xii
Índice de Figuras.....	xiii
Abreviaturas	xvii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objectivos	2
1.3 Organização do texto.....	2
2 Convento dos Capuchos	3
2.1 Considerações iniciais	3
2.2 Enquadramento histórico	4
2.3 Breve descrição construtiva.....	5
3 Argamassas históricas	13
3.1 Considerações gerais	13
3.2 Caracterização de argamassas históricas	14
3.2.1 Composição mineralógica	15
3.2.2 Traço e granulometria	17
3.2.3 Caracterização física	18
3.2.4 Caracterização mecânica	19
4 Apresentação e descrição do plano de trabalhos	23
4.1 Considerações iniciais	23
4.2 Amostragem.....	23
4.3 Metodologia experimental.....	27
4.4 Caracterização física das amostras.....	28
4.4.1 Caracterização física macroscópica	28

4.4.2	Determinação de resíduo solúvel e insolúvel. Dissolução com ácido	29
4.4.3	Determinação das propriedades do agregado: Peneiração	30
4.4.4	Determinação de porosidade aberta	32
4.4.5	Determinação da massa volúmica real e aparente	34
4.4.6	Determinação da absorção de água por imersão (após 48 horas)	34
4.4.7	Determinação da absorção de água por capilaridade	35
4.5	Caracterização colorimétrica das amostras	36
5	Caracterização de argamassas do Convento dos Capuchos	39
5.1	Considerações iniciais	39
5.2	Descrição visual	39
5.3	Composição e granulometria do agregado	43
5.4	Caracterização física	47
5.5	Caracterização colorimétrica	59
6	Conclusões e proposta para desenvolvimentos futuros	69
6.1	Conclusões gerais	69
6.2	Proposta para desenvolvimentos futuros	70
	Referências bibliográficas	72
	Anexos	i
	Anexo A – Fichas de caracterização das amostras do Convento dos Capuchos	i

Índice de Tabelas

Tabela 3-1 Características físicas de argamassas antigas e de argamassas produzidas em laboratório.	19
Tabela 3-2 - Ensaio e normas para caracterização física de Argamassas históricas. Adaptado de (Appleton, 2011; Veiga et al., 2001).....	19
Tabela 3-3 Valores de características mecânicas de argamassas de cal aérea.	21
Tabela 3-4 - Ensaio e normas para caracterização mecânica de Argamassas históricas. Adaptado de ((Appleton, 2011; Veiga et al., 2001))	22
Tabela 4-1 Tabela resumo das amostras recolhidas e localização.	26
Tabela 5-1 Quadro resumo da descrição visual das amostras. +++: elevado; ++: moderado; +: fraco; -: residual ou sem ocorrência.	42
Tabela 5-2 Relação resíduo solúvel/insolúvel (estimativa do traço).	43
Tabela 5-3 Dados de composição de argamassa de quatro edifícios do Século XVI. Adaptado de (Damas et al., 2016).....	43
Tabela 5-4 Dados complementares de caracterização dos agregados.....	45
Tabela 5-5 Identificação das amostras e valores obtidos nos diversos ensaios realizados.	47
Tabela 5-6 Caracterização colorimétrica.	59
Tabela 5-7 Revestimentos decorativos – caracterização colorimétrica.	66

Índice de Figuras

Figura 2.1 Mapa de localização do Convento dos Capuchos. Adaptado de (DGPC, 2017).....	3
Figura 2.2 Mapa de conteúdos de zonas de proteção e património da Serra de Sintra. Adaptado de (DGPC, 2017).	3
Figura 2.3 Perspectiva do Convento dos Capuchos em corte. Adaptado de (Gamito & Soares, 1964).5	
Figura 2.4 Planta do Convento dos Capuchos. Adaptado de (Gamito & Soares, 1964).	5
Figura 2.5 Planta do 1º nível do Convento. Adaptado de (Gamito & Soares, 1964).	5
Figura 2.6 Pormenor do afloramento da rocha granítica.	6
Figura 2.7 Telheiro da entrada para a Capela da Paixão.	6
Figura 2.8 Pormenor da parede exterior da Capela da Paixão.....	6
Figura 2.9 Pormenor de cortiça na viga e na porta de entrada para a Igreja.	7
Figura 2.10 Pormenor de utilização de azulejo, seixos e cerâmico na decoração.	7
Figura 2.11 Interior da Igreja do Convento.	8
Figura 2.12 Tecto em maceira no Coro Alto.	8
Figura 2.13 Parede exterior da Cozinha.	8
Figura 2.14 Planta do 2º nível do Convento. Adaptado de (Gamito e Soares 1964).....	9
Figura 2.15 Pormenor do interior da Cozinha, destacando o revestimento decorativo de cor cinza/azul na parede.	9
Figura 2.16 Pavimento da Cozinha em lajedo.	9
Figura 2.17 Corredor de acesso às celas.	10
Figura 2.18 Interior da Casa das Águas.	10
Figura 2.19 Planta do 3º nível do Convento. Adaptado de Gamito e Soares 1964).....	11
Figura 4.1 Localização das amostras no 1º nível do Convento. Adaptado de (Gamito & Soares, 1964).	23
Figura 4.2 Localização das amostras no 2º nível do Convento. Adaptado de (Gamito & Soares, 1964).	23
Figura 4.3 Localização da amostra GA1.....	24
Figura 4.4 Localização da amostra CPE1.....	24
Figura 4.5 Localização da amostra CPE2.....	24
Figura 4.6 Localização da amostra CPE3.....	24

Figura 4.7 Localização da amostra ASC1.....	25
Figura 4.8 Localização da amostra CZ1.	25
Figura 4.9 Localização da amostra CE1.....	25
Figura 4.10 Localização da amostra CA1.....	25
Figura 4.11 Localização da amostra HE1.....	26
Figura 4.12 Pormenor após recolha da amostra HE1.....	26
Figura 4.13 Procedimento de recolha das amostras do Convento.....	27
Figura 4.14 Metodologia experimental realizada em laboratório.....	28
Figura 4.15 Teste com reactividade às gotas de ácido clorídrico.....	29
Figura 4.16 Teste com baixa reactividade às gotas de ácido clorídrico.....	29
Figura 4.17 Pormenor do processo de moagem dos constituintes da amostra.....	29
Figura 4.18 Manuseamento de recipientes com ácido munido de EPI adequado.....	29
Figura 4.19 Pormenor de recipientes posicionados para introdução de solução de ácido.....	30
Figura 4.20 Depósito no fundo do recipiente após repouso da solução em contacto com a amostra..	30
Figura 4.21 Pormenor da amostra completa, com as partículas mais finas visíveis na zona superior da placa de Petri.....	30
Figura 4.22 Pormenor da organização da mesa de trabalho para a metodologia de peneiração.....	31
Figura 4.23 Tabuleiro com amostras de 1 a 17.....	32
Figura 4.24 Tabuleiro com amostras de 18 a 30.....	32
Figura 4.25 Exsiccador com amostras em vácuo.....	33
Figura 4.26 Pormenor da máquina de introdução de vácuo em funcionamento.....	33
Figura 4.27 Introdução de ar para estabilização à pressão atmosférica.....	33
Figura 4.28 Pormenor das amostras submersas no interior do exsiccador.....	33
Figura 4.29 Amostras imersas em água para determinar teor em água após 48 horas.....	35
Figura 4.30 Superfície de contacto obtida por software de análise de imagens.....	36
Figura 4.31 Pormenor do sistema de cestos com geotêxtil para auxiliar a pesagem.....	36
Figura 4.32 Espaço de cor tridimensional segundo CIELAB. Adaptado de (Delazio et al., 2017).....	37
Figura 5.1 Amostra CPE3 antes do procedimento de limpeza.....	39
Figura 5.2 Amostra CA1 antes do procedimento de limpeza.....	39
Figura 5.3 Amostra ASC1 antes do procedimento de limpeza.....	40

Figura 5.4 Amostra CZ1 antes do procedimento de limpeza.....	40
Figura 5.5 Amostras ASC1, em cima, e CZ1, após limpeza, e pormenor interior de alguns fragmentos.	40
Figura 5.6 Amostra GA1 após procedimento de limpeza.	40
Figura 5.7 Amostra CPE1 após procedimento de limpeza.	40
Figura 5.8 Amostra CPE2 antes do procedimento de limpeza.	40
Figura 5.9 Amostra CE1, face interior, com alguns vazios e nódulos de cal.	41
Figura 5.10 Amostra de HE1, face interior, e nódulos de cal em diversos fragmentos.	41
Figura 5.11 Amostra HE1, face exterior.	41
Figura 5.12 Curvas Granulométricas das amostras analisadas.	44
Figura 5.13 Amostra CPE3.	46
Figura 5.14 Amostra CPE3 ampliada.....	46
Figura 5.15 Valores de porosidade obtidos.	48
Figura 5.16 Valores de massa volúmica aparente obtidos.	48
Figura 5.17 Valores de massa volúmica real obtidos.	49
Figura 5.18 Valores do teor em água após 48h de imersão em água.	50
Figura 5.19 Valores do teor máximo em água das amostras estudadas.....	51
Figura 5.20 Valores do coeficiente de saturação C_{sat}	51
Figura 5.21 Curvas de absorção de água por capilaridade em função da raiz do tempo.....	52
Figura 5.22 Valores do coeficiente de capilaridade das amostras HE1, ASC1.A, CPE2 e CPE3.	53
Figura 5.23 Curvas de absorção de água por capilaridade em função da raiz quadrada do tempo. ...	54
Figura 5.24 Valores do coeficiente de capilaridade das amostras CZ1, CA1 e CE1.....	54
Figura 5.25 Curvas de absorção de água por capilaridade em função da raiz quadrada do tempo de 4 fragmentos de argamassa da amostra CPE1.	55
Figura 5.26 Valores de coeficiente de capilaridade de 4 fragmentos de argamassa da amostra CPE1.	56
Figura 5.27 Curvas de absorção de água por capilaridade em função da raiz quadrada do tempo dos fragmentos com revestimento.....	56
Figura 5.28 Valores de coeficiente de capilaridade de 4 fragmentos com revestimento da amostra CPE1.....	57
Figura 5.29 Relação entre a porosidade e o coeficiente de absorção de todas as amostras.	58

Figura 5.30 Gráfico com as coordenadas a^* e b^* das argamassas.....	60
Figura 5.31 Gráfico com as coordenadas C^* e L^* das argamassas.	60
Figura 5.32 Referencial do espaço da cor, com luminosidade no eixo zz. Adaptado de (Mouw, 2018).	61
Figura 5.33 Gráfico com as coordenadas C^* e L^* das amostras CPE1, CPE2 e CPE3.....	61
Figura 5.34 Fotografias das amostras CPE1 (a), CPE2 (b) e CPE3 (c).	62
Figura 5.35 Gráfico com as coordenadas C^* e L^* das amostras HE1 e CZ1.	62
Figura 5.36 Fotografias das amostras HE1 (a) e CZ1 (b).	63
Figura 5.37 Gráfico com as coordenadas C^* e L^* das amostras CA1 e CE1.	63
Figura 5.38 Fotografias das amostras CA1 (a) e CE1 (b).	64
Figura 5.39 Gráfico com as coordenadas C^* e L^* da amostra ASC1.A.....	64
Figura 5.40 Fotografia da amostra ASC1.	65
Figura 5.41 Gráfico com as coordenadas C^* e L^* das amostras CPE1, CZ1 e CE1.....	66
Figura 5.42 Fotografias das amostras CPE1 (a), CZ1 (b) e CE1 (c).	67

Abreviaturas

CIE – *Commission Internationale de l’Eclairage*;

CIELAB – Procedimento de cálculo de coordenadas L^*a^*b no espaço de cor;

C_{sat} – Coeficiente de Saturação [%];

DECivil – Departamento de Engenharia Civil;

HCL – Ácido Clorídrico;

IST – Instituto Superior Técnico;

MF – Módulo de Finura;

MVA – Massa Volúmica Aparente, expresso em $[\text{kg}/\text{m}^3]$;

MVR – Massa Volúmica Real, expresso em $[\text{kg}/\text{m}^3]$;

P – Porosidade [%];

PSML – Parques de Sintra – Monte da Lua, S.A;

UNESCO – *United Nations Educational Scientific and Cultural Organization*.

$W_{máx}$ – Teor em água máximo [%];

W_{48h} – Teor em água após 48h [%];

1. Introdução

1.1 Enquadramento

A proteção e valorização do património cultural é fundamental para um mecanismo de transmissão da história para as gerações futuras, impedindo que o avanço natural do tempo destoe as riquezas do passado (Lei 107/2001 - DRE, 2001).

O Convento dos Capuchos foi construído em 1560 para albergar uma ordem Franciscana, com grande ênfase na pobreza de construção e decoração minimalista. A presente dissertação procede à caracterização de um conjunto de amostras provenientes de elementos construtivos do Convento dos Capuchos com o objectivo de contribuir para o conhecimento dos materiais utilizados na construção do Convento e para eventual futura formulação de argamassas compatíveis.

A UNESCO criou uma categoria de bem cultural – Paisagem Cultural – e Sintra foi a primeira Paisagem Cultural inscrita como Património da Humanidade em 1995. Esta classificação entra em linha de conta com o imenso potencial de valorização de bens culturais e naturais públicos, assim como o reconhecimento do paisagismo romântico (Parques de Sintra - Monte da Lua, 2020). As influências de diversas culturas na arquitectura, como elementos góticos mouros e até egípcios assim como as espécies arbóreas exóticas que se tornaram locais, criando a denominada paisagem romântica, são exemplos de elementos que satisfizeram critérios de inclusão – três de dez – na lista de Património Cultural (UNESCO, 1995).

O Convento encontra-se localizado na Serra de Sintra e integra a Paisagem Cultural de Sintra, classificada pela UNESCO como património Mundial e encontra-se sob gestão da empresa Parques de Sintra – Monte da Lua, S.A, doravante PSML.

Em 2013, a PSML, deu início a um processo de intervenção no Convento dos Capuchos com o objectivo de proceder a acções de conservação, restauro e requalificação. Os trabalhos tiveram início com intervenções em áreas circunscritas e que apresentavam pior estado de conservação. Mais recentemente, foi realizada uma nova intervenção que incluiu a recuperação das coberturas, instalação de infraestruturas interiores, a implementação de um núcleo museológico e de um novo Centro de Apoio ao Visitante (Câmara Municipal de Sintra, 2019).

A presente dissertação foi suportada numa campanha experimental que incidiu num conjunto de amostras recolhidas pela PSML em diversos elementos construtivos que integram o conjunto edificado do Convento dos Capuchos.

É recomendável o conhecimento aprofundado dos materiais constituintes de um bem com valor cultural antes de iniciar a sua intervenção de conservação e restauro. A frequente inexistência de registos acerca de metodologias construtivas de edifícios históricos e materiais exige um trabalho multidisciplinar, no sentido de se obter todas as informações necessárias ao conhecimento integral do objeto. Qualquer intervenção deve ser ponderada, tanto no respeito pelas técnicas utilizadas como em

termos de compatibilidade dos materiais utilizados. Deve garantir-se que qualquer intervenção não prejudique o valor histórico ou efeitos colaterais no futuro (ICOMOS, 2003).

1.2 Objectivos

A dissertação tem como principais objetivos:

1. Analisar a informação existente relativa ao Convento dos Capuchos no que respeita à sua evolução, características construtivas e materiais;
2. Contribuir para a caracterização dos revestimentos das alvenarias existentes no Convento dos Capuchos, através do estudo de amostras recolhidas *in situ*;
3. Contribuir para a futura formulação de argamassa de reintegração e/ou substituição compatíveis com as existentes.

1.3 Organização do texto

A dissertação encontra-se organizada em seis capítulos, bibliografia e anexos, em conformidade com o conteúdo que se apresenta de seguida.

O primeiro capítulo corresponde à introdução do trabalho, com ênfase no enquadramento, definição dos objectivos propostos e organização do documento final.

O segundo capítulo explana o enquadramento histórico e uma breve descrição do Convento dos Capuchos, algo considerado fundamental para a compreensão da importância histórica e cultural do monumento em apreço.

O terceiro capítulo centra-se no conceito de argamassas históricas. Inicia-se com uma breve descrição histórica do uso destes materiais até aos dias de hoje. De seguida, o capítulo desenvolve-se com as propriedades típicas deste tipo de argamassa, as suas composições mais frequentes, características físicas e tipo de ligante.

O quarto capítulo corresponde à apresentação do plano de trabalhos e metodologias utilizadas na caracterização das amostras estudadas. Este capítulo aborda a amostragem realizada, metodologia adoptada para o estudo das amostras e uma descrição detalhada dos ensaios de caracterização realizados.

O quinto capítulo diz respeito à apresentação dos resultados obtidos na caracterização das amostras, análises comparativas e discussão.

Por fim, o sexto capítulo é um epílogo da dissertação com ênfase no cumprimento dos objectivos propostos, conclusões obtidas e contribuição para a temática das argamassas históricas do nosso país.

2 Convento dos Capuchos

2.1 Considerações iniciais

O presente capítulo procede ao enquadramento geográfico e histórico do Convento dos Capuchos, e a uma breve referência à sua evolução e descrição construtiva. Primeiramente, uma breve introdução do objecto relativamente ao espaço envolvente, a nível de proteção e localização geográfica. Posteriormente, uma curta introdução relativamente ao testemunho que este monumento representa. Nos restantes subcapítulos serão aprofundados os dados históricos relevantes e descrição construtiva do Convento para enquadramento com o objecto em estudo.

O Convento dos Capuchos encontra-se localizado na Serra de Sintra, mais propriamente na freguesia de Colares, a Este do cabo da Roca em direção à Pena (Figura 2.1). Está abrangido pela “Paisagem Cultural e Natural de Sintra”, incluída na Lista de Património Mundial (UNESCO, 1995). Está ainda classificado como imóvel de interesse público, encontrando-se confinado por uma zona geral de proteção específica, figura 2.2.

Erguido em pleno século XVI para albergar uma ordem Franciscana, o Convento dos Capuchos é um bem que representa um testemunho histórico e religioso relevante. Segundo a Lei de Bases (Lei 107/2001 - DRE, 2001), estes tipos de bens imóveis estão sujeitos a um regime especial, que visa a sua protecção e valorização.



Figura 2.1 Mapa de localização do Convento dos Capuchos. Adaptado de (DGPC, 2017).



Figura 2.2 Mapa de conteúdos de zonas de proteção e património da Serra de Sintra. Adaptado de (DGPC, 2017).

2.2 Enquadramento histórico

O convento dos Capuchos foi fundado por Dom Álvaro de Castro, cumprindo o veto testamentário de seu pai, vice-rei da Índia, Dom João de Castro, em 1560 (Parques de Sintra - Monte da Lua, 2020).

Este acontecimento ficou gravado num documento epigráfico, em mármore branco, na principal entrada do Convento (Neves, 2010).

Dom João de Castro alocara a extensão do terreno que lhe foi oferecido por serviços prestados ao reino, a Quinta da Penha Verde com cerca de cinco hectares – para este propósito (Neves, 2010; Serra de Sintra, 2009). Esta localização não é ordem do acaso, visto que tem todas as condições associadas a um convento franciscano: local inóspito, mas provido de terra fértil, nascentes de água e, misteriosamente, embebido no silêncio da serra.

Com a perda da independência em 1580, Dom Filipe II, primeiro de Portugal, teve um curioso e inexplicável interesse em visitar o convento mais despojado do seu reino. Embora historicamente esteja comprovado que Dom Álvaro de Castro foi embaixador em Madrid, e amigo pessoal do soberano, suspeita-se que esta visita do Rei se deveu à ordem que alberga o convento: três bispos franciscanos foram eleitos Papa em Roma (Neves, 2010).

Em 1834, deu-se a extinção das ordens religiosas em Portugal e o conseqüente abandono do convento. Em Junho do mesmo ano, realizou-se o inventário de extinção do convento, catalogando os bens móveis e imóveis que este possuía (D GARQ - Direcção-Geral de Arquivos, 2008).

A propriedade da Quinta da Penha Verde sofreu algumas trocas sucessivas de proprietários, até ter sido adquirida por *Sir Francis Cook* em 1873 (Serra de Sintra, 2009).

Em 1949, o estado português adquiriu a propriedade do Convento. Este foi um passo importante na conservação de todo o património existente na quinta, principalmente do convento, dado que no ano anterior, tanto o convento como o palácio, foram classificados como imóveis de interesse público (DGPC, 2017).

Finalmente, em 1995, a UNESCO classificou Sintra como Património Mundial da Humanidade, ficando o convento abrangido por esta classificação (Heritage, 1995; UNESCO, 1995).

É importante ressaltar que este convento tem diversas denominações, sendo as quatro mais conhecidas como: Convento dos Capuchos, Convento da Santa Cruz, Convento da Cortiça e ainda os “Arrábidos”. A primeira denominação tem a justificação em um de três ramos da ordem franciscana, onde os frades menores franciscanos viviam desprovidos de tudo, usando apenas o traje (capucha) que os caracteriza. A segunda denominação será, porém, o seu legítimo nome pois este convento terá sido fundado em honra de Santa Cruz. Pode ainda observar-se a sua notória homenagem, através das diversas cruces que ainda se preservam no espaço. A terceira denominação deve-se a uma matéria-prima que, ainda nos dias de hoje, existe na Serra de Sintra: sobreiros que produzem cortiça. Ora, o convento está repleto deste material para conferir alguma habitabilidade e aproveitamento das capacidades térmicas do mesmo, tornando o microclima característico de Sintra mais aceitável até para quem vive na simplicidade extrema. Por último, os “Arrábidos” era uma denominação histórica

honrando o primeiro convento de frades Franciscanos Capuchos edificado na Serra da Arrábida em 1539 (Neves, 2010; Pereira de Lima, 2005).

2.3 Breve descrição construtiva

O Convento dos Capuchos apresenta um perfil irregular, adaptado ao declive da orografia, aproveitando os penedos e rochas graníticas que se encontram no local.

Este divide-se em três níveis perfeitamente definidos (Figuras 2.3 e 2.4), ao longo dos quais se desenvolvem terreiros, compartimentos e todo um local de culto religioso erguido em harmonia com a natureza.

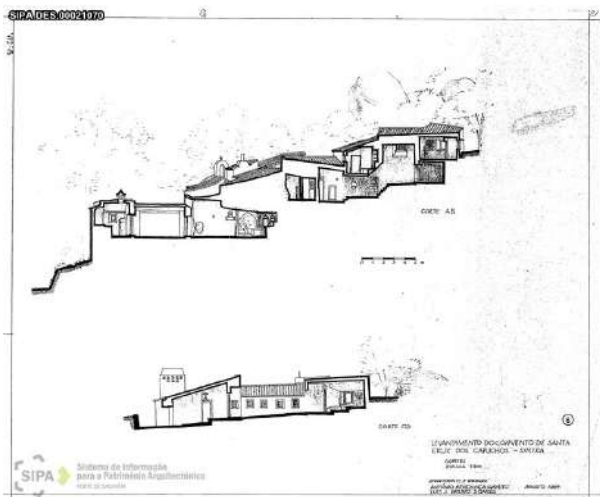


Figura 2.3 Perspectiva do Convento dos Capuchos em corte. Adaptado de (Gamito & Soares, 1964).

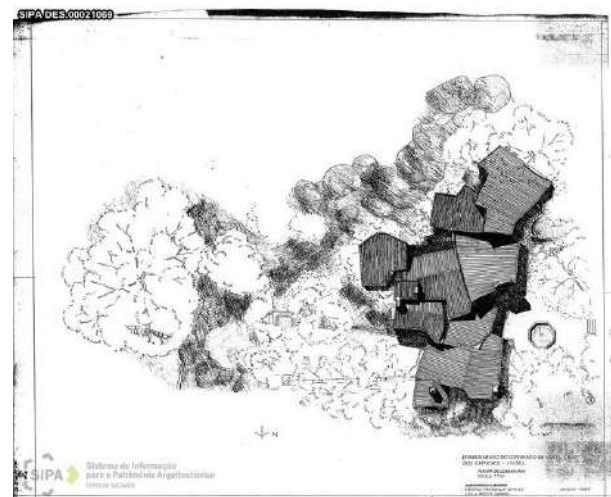


Figura 2.4 Planta do Convento dos Capuchos. Adaptado de (Gamito & Soares, 1964).

Ao percorrer os caminhos até o primeiro terreiro, um pouco sinuosos devido a uma calçada tipo medieval (Neves, 2010), deparamo-nos com três cruzes que batizam o primeiro espaço (figura 2.5 – local 1). Aqui é o início do primeiro nível do Convento.

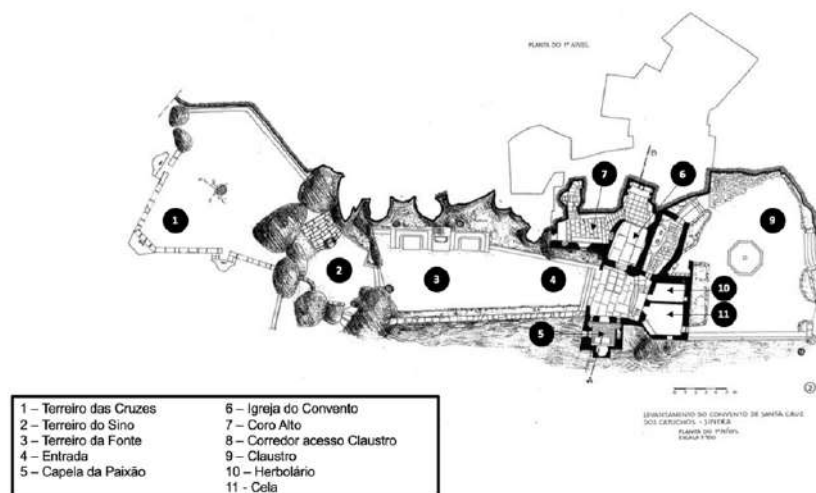


Figura 2.5 Planta do 1º nível do Convento. Adaptado de (Gamito & Soares, 1964).

Ao percorrer os terreiros em direção à entrada, pode-se observar em pormenor que o segundo nível do convento encontra-se localizado sobre um afloramento de rocha granítica, figura 2.6.



Figura 2.6 Pormenor do afloramento da rocha granítica.

À direita da mesma, apresenta-se a Capela da Paixão, onde se pode observar nas figuras 2.7 e 2.8, pormenores da parede exterior junto ao pequeno vão.



Figura 2.7 Telheiro da entrada para a Capela da Paixão.



Figura 2.8 Pormenor da parede exterior da Capela da Paixão.

Nesta parede exterior, observam-se algumas anomalias relacionadas com a degradação do reboco exterior e fissuração vertical que, tendo em conta a diferença de cotas das duas coberturas, pode indicar separação de elementos construídos em alturas distintas. O descasque do reboco torna visível um paramento rugoso.

Observando novamente a entrada num panorama generalista, consegue-se constatar diversos materiais utilizados para decoração minimalista, como cortiça, azulejos e seixos. Os pormenores descritos neste parágrafo encontram-se explícitos nas figuras 2.9 e 2.10.



Figura 2.9 Pormenor de cortiça na viga e na porta de entrada para a Igreja.



Figura 2.10 Pormenor de utilização de azulejo, seixos e cerâmico na decoração.

O interior da Igreja do Convento é o local mais ornamentado, pois o altar é constituído por mármore (figura 2.11), um material nobre e antagónico para com as crenças de simplicidade e pobreza típicas da ordem Franciscana. Este altar poderá ter sido oferecido à ordem e apresenta as três cores do traje dos frades: preto, branco e vermelho (Neves, 2010). Pode ainda observar-se a presença de uma coloração escura no revestimento das paredes, provavelmente, obtida recorrendo à utilização de cinza nas caiações e barramentos (Gaspar, 2005).

Continuando a descrição do primeiro nível do Convento, na figura 2.12 observa-se o espaço do Coro Alto. Este local encontra-se atrás da Igreja, subindo seis degraus, e servia para o Sacerdote preparar as suas missas ou receber altos dignatários (Neves, 2010). Compartimento com muita luz natural, dos poucos espaços do Convento com duas janelas, e com tecto em maceira demonstrando a importância dada a este local. Em contrapartida, pode ser notado no singelo revestimento de cortiça utilizado para as portadas e para cobrir o tecto. Esta opção conferia um pouco de conforto térmico aos habitantes, pois a cortiça apresenta propriedades de isolante térmico, nomeadamente – a baixa condutividade térmica, não absorve humidade, não acumula cheiros e apresenta durabilidade mesmo com variações térmicas consideráveis típicas da Serra de Sintra (Abdala, 2018). Todas estas características sem descurar o voto de pobreza inerente a uma ordem Franciscana.



Figura 2.11 Interior da Igreja do Convento.



Figura 2.12 Tecto em maceira no Coro Alto.

Para finalizar este nível do Convento, a figura 2.13 reproduz a vista do claustro em direção à cozinha. Observam-se duas janelas desniveladas, com o pormenor de apenas uma possuir lintel e ombreiras. Esta parede exterior está orientada a poente, e mesmo assim apresenta pormenores indicativos de humidade – a zona escurecida no canto inferior direito e vestígios de colonização a meio e no lado esquerdo da figura pela tonalidade laranja no paramento. A fissuração e zonas onde ocorreu destacamento das argamassas de revestimento também torna visíveis argamassas com tonalidades e texturas distintas.



Figura 2.13 Parede exterior da Cozinha.

A planta do segundo nível do Convento dos Capuchos pode ser observada na figura 2.14.

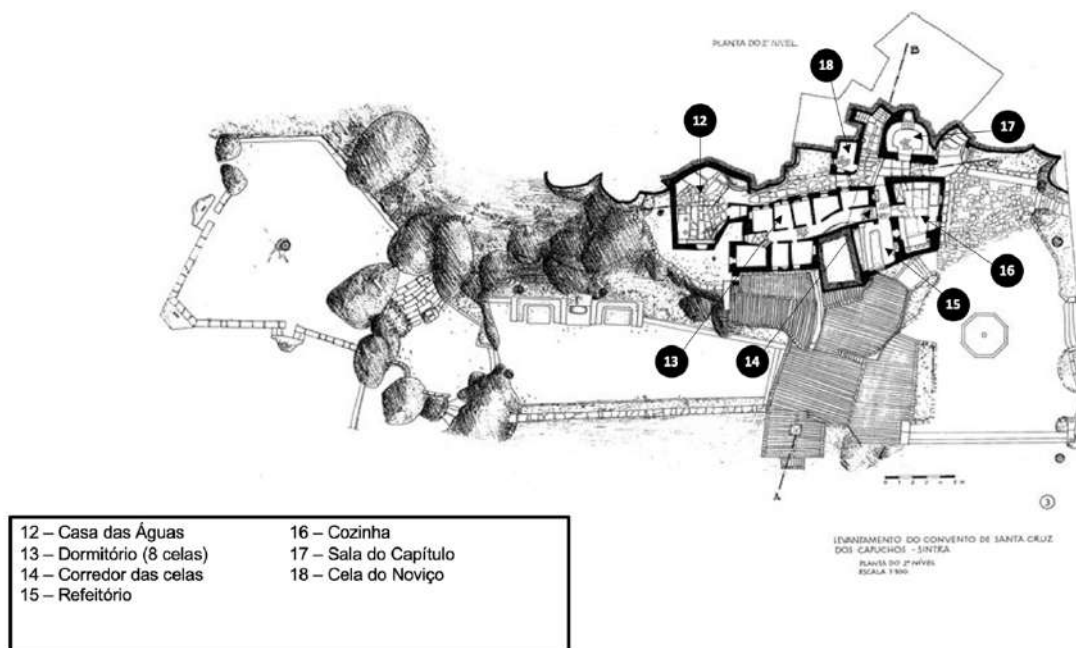


Figura 2.14 Planta do 2º nível do Convento. Adaptado de (Gamito e Soares 1964).

Neste patamar encontram-se os compartimentos mais convidativos à vida quotidiana, destacando-se a Cozinha, as 8 Celas e a Casa das Águas. Estes três espaços apresentam condições interessantes para um lugar tão inóspito e até pormenores interessantes como um circuito próprio de esgoto.

Nas figuras 2.15 e 2.16 pode visualizar-se em pormenor como se organiza a cozinha.



Figura 2.15 Pormenor do interior da Cozinha, destacando o revestimento decorativo de cor cinza/azul na parede.



Figura 2.16 Pavimento da Cozinha em lajedo.

A parede possui um revestimento decorativo com tom cinzento/azulado, como se pode observar na figura 2.15. Nas zonas com descasque consegue-se visualizar a presença de uma argamassa de reboco com tonalidade clara.

Relativamente aos restantes materiais, observa-se a utilização de calcário na prateleira conjugado com cerâmico na extremidade da mesma (Neves, 2010).

Na figura 2.16, o pavimento é em lajedo com dimensões consideráveis com a particularidade de ter sido aplicado apenas neste compartimento.

O corredor das celas, como se observa na figura 2.17, apresenta oito compartimentos com uma entrada muito estreita e pavimento em tijoleira. No entanto, esta alteração do pavimento deveu-se a uma ampliação ainda executada no tempo da ordem religiosa, com a necessidade de aumento da capacidade de oito para doze frades (Neves, 2010). Nota-se o antigo pavimento, em granito, com tijoleira sobreposta. O revestimento decorativo das paredes volta a ter uma tonalidade escura, como na Igreja.

Ao fundo do corredor, encontra-se a Casa das Águas (figura 2.18). Este local é construído em torno da rocha granítica, que tem a particularidade de escorrer água com algum caudal. O sistema de canalização encaminha a água para o reservatório em forma de capela, como se pode observar na figura 2.18. Outro pormenor interessante, o reservatório tem ligação para a zona agrícola do Convento para irrigar as plantações. O circuito desta canalização ainda não foi totalmente descoberto (Gaspar, 2005; Neves, 2010).

Sendo um compartimento sem ventilação, a humidade é notória.



Figura 2.17 Corredor de acesso às celas.



Figura 2.18 Interior da Casa das Águas.

Por fim, o terceiro nível do Convento dos Capuchos apresenta a planta da figura 2.19.

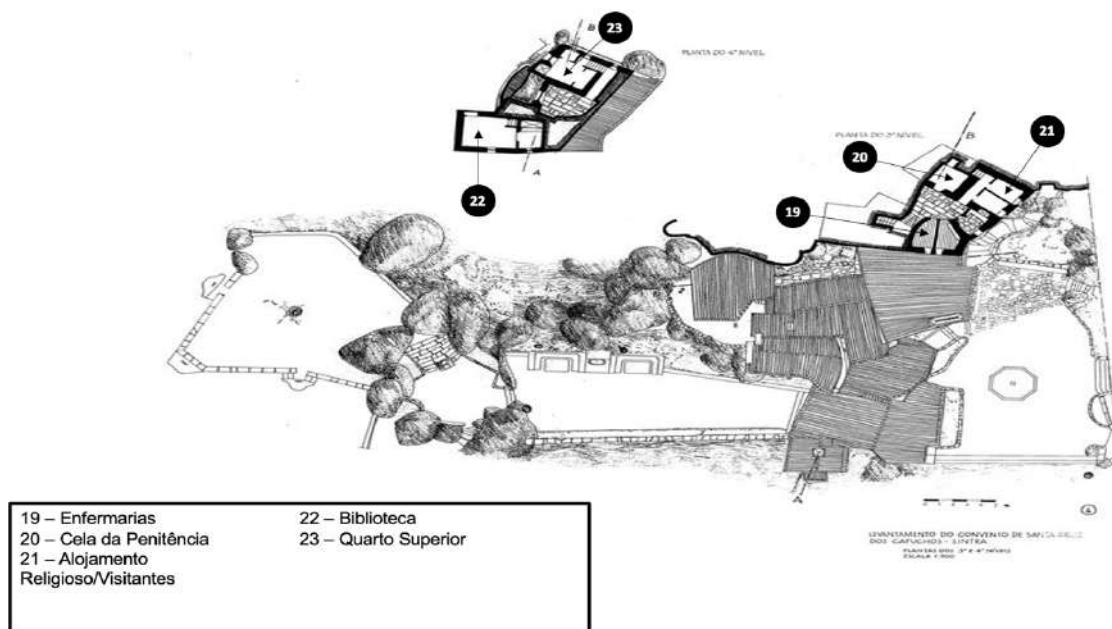


Figura 2.19 Planta do 3º nível do Convento. Adaptado de Gamito e Soares 1964).

Esta zona mais elevada correspondia a uma zona de descanso para que os doentes pudessem isolar-se dos restantes membros da comunidade, assim como uma cela penitenciária idêntica às celas do nível dois mas sem janela.

O quarto superior tem uma configuração interessante – apresenta uma divisão suplementar para escudeiro/criado e uma janela de dimensões anormalmente superiores às restantes e virada para um caminho no meio do arvoredo. Seria esta, possivelmente, uma saída de emergência para as visitas dos membros da realeza (Neves, 2010).

O Convento dos Capuchos é sustentado por paredes autoportantes de alvenaria mista. Outros materiais foram também utilizados com alguma relevância, e típicos na região, como granito, mármore, cortiça, seixos e conchas.

De uma forma geral, os monumentos antigos não apresentam rigor nos registos relativos à sua edificação. Com a extinção das ordens religiosas no século XIX, o espólio típico das bibliotecas poderá ter retirado anotações relevantes sobre a construção e pequenas obras de manutenção que possam ter ocorrido ainda durante os primeiros usufrutuários.

Das intervenções realizadas com registos físicos, apenas foram encontrados disponíveis para consulta pública evidências relativas ao intervalo temporal entre 1952 a 2001 (Gonçalves & Costa, 2003), nomeadamente:

- 1952 – Construção do telhado da capela, celeiro e das latrinas dos monges;
- 1953 – Obras de conservação e reparação dos telhados da casa do guarda;
- 1958 – Reparções de coberturas;
- 1963 – Reparções de coberturas e interiores;

- 1967 – Substituição de dois portões em madeira forrada a cortiça, reparações de coberturas, reparação e substituição de canalizações e limpeza de minas;
- 1970 – Obras de conservação das coberturas, recolocar forros nos tectos e substituição de portões;
- 1983 / 1985 – Obras de conservação das coberturas;
- 1994 – Limpeza e manutenção do edifício e mata;
- 2000 / 2001 – Obras gerais de conservação e restauro do edifício.

Denota-se que os registos das intervenções mencionadas se iniciaram poucos anos após a tutela do Convento por parte do Estado Português.

3 Argamassas históricas

3.1 Considerações gerais

O presente capítulo tem como objectivo resumir as características principais das argamassas históricas, tipicamente de cal aérea. Inicialmente, a abordagem incide numa breve descrição histórica da evolução da utilização desta argamassa ao longo das civilizações. Posteriormente, inicia-se a caracterização das argamassas e descrição dos constituintes mais utilizados na sua formulação, e características distintas que poderiam acrescentar. Relativamente aos agregados, analisou-se as diferenças no comportamento face à utilização de agregados siliciosos ou calcários. Por fim, explorou-se as características físicas e mecânicas destas argamassas históricas, dando ênfase ao comportamento destas argamassas em contacto com água, recolhendo alguns dados obtidos em estudos anteriores.

As argamassas históricas apresentam características que se associam à época, localização e tipologia do edificado para onde foram produzidas, sendo habitualmente ricas em ligante. Apresentam frequentemente nódulos brancos de cal, com variadas dimensões, e poderão ter sido modificadas com fibras, óleos, cinzas ou até materiais cerâmicos (Damas et al., 2016; Veiga, 2018).

Desde os primórdios da civilização que a cal aérea é usada como material de construção em revestimentos, começando na civilização grega, ainda antes de Cristo, até em pleno Império Romano, perfazendo oito séculos de história a utilizar esta tecnologia (Veiga, 2006).

A composição da argamassa utilizada pelos romanos foi, claramente, aperfeiçoada uma vez que é possível comprovar com a panóplia de construções que duraram até aos dias de hoje. Este incremento de qualidade e durabilidade deveram-se à introdução de aditivos de pó cerâmico de barro vermelho, sendo os primeiros registos associados ao arquitecto Vitruvius, que introduziu esta técnica na concepção das argamassas de cal.

As melhorias com intuito estético, ao nível dos revestimentos, estão associadas aos Árabes. Estes introduziram gesso na formulação da cal, criando condições para melhorar a ornamentação (Damas et al., 2016; Mendonça De Oliveira, 2008).

Ao longo dos séculos, a cal aérea continuou a ser a solução de ligante mais utilizada até surgirem os primeiros ligantes hidráulicos, começando na cal hidráulica, cimento natural e prosseguir até ao cimento Portland (Damas et al., 2016).

No início do século XIX, deu-se a descoberta do cimento que causou, primeiramente, alteração da utilização do ligante à base de cal, ao nível de paredes de suporte e, posteriormente, nos próprios revestimentos (Veiga, 2006).

Estas alterações originaram uma introdução e divulgação massiva do cimento de Portland no ramo da construção, causando um esquecimento generalizado dos conhecimentos relativos ao ligante mais utilizado durante milénios (Appleton, 2011).

3.2 Caracterização de argamassas históricas

Inicia-se este subcapítulo com duas citações da Carta Europeia do Património Arquitectónico (1975), ponto seis:

“O património arquitectónico encontra-se ameaçado pela ignorância, pela obsolescência, pela degradação e pela negligência”. (...)

“A tecnologia contemporânea mal aplicada, bem como os restauros irreflectidos, podem ser desastrosos para as estruturas antigas.” (...)

Segundo Gillot & Coutelas (2018), a análise de amostras de argamassa antiga deve focar-se em três pontos fundamentais:

- Procurar informações históricas relativas ao objecto: época de construção, metodologias e materiais conhecidos que caracterizem edifícios similares na literatura;
- Determinação da composição e propriedades dos materiais utilizados na produção da argamassa, com as metodologias que temos ao dispor;
- Avaliar e compreender as causas da degradação e deteriorização para delinear uma estratégia de restauro e conservação;

No âmbito da conservação de património, a determinação da composição e propriedades dos materiais utilizados na produção de argamassa é fundamental para o delineamento de intervenções e materiais compatíveis. Em Portugal, ainda é um domínio pouco explorado, demasiado caso a caso, mas essencial para o estudo de soluções viáveis e que não destruam valor do património (Appleton, 2011).

As argamassas de cimento são incompatíveis com as de cal, tendo-se verificado que, em edifícios antigos, apresentam durabilidade inferior na maioria dos casos, assim como problemas de compatibilidade (Veiga, 2006). Assim sendo, ainda é mais preponderante que se conheça ao pormenor os materiais utilizados nestes casos. As argamassas antigas diferem das argamassas actualmente utilizadas em múltiplos aspectos. O conhecimento rigoroso da composição e das diversas propriedades físicas e mecânicas das amostras de argamassas históricas de um dado monumento, é fundamental para a reabilitação e restauro. Só assim é possível formular uma solução de argamassa de reparação compatível que contribua favoravelmente para a durabilidade e resistência do elemento (Ferreira Pinto et al., 2020).

A aplicação de uma solução pouco fundamentada pode prejudicar o monumento, e até causar perda de valor histórico e patrimonial. O objectivo é intervir de forma criteriosa e responsável, criando condições para que eventuais mecanismos de degradação sejam interrompidos e fomentando a preservação do elemento. Para além de que, o estudo composicional das argamassas pode contribuir para encontrar relação entre a época de construção e os respetivos constituintes utilizados. Este estudo é fundamental para interpretar outros exemplares com características idênticas e assim melhorar o conhecimento intrínseco das argamassas históricas utilizadas em Portugal (Sena da Fonseca et al., 2020).

Assim sendo, ainda é mais preponderante que se conheça ao pormenor os materiais utilizados nestes casos. O processo começa por se pesquisar a época, as tradições e técnicas utilizadas na construção do edifício. A tipologia e o uso para o qual foi concebido, as condições climáticas a que esteve sujeito. Não só no panorama geral, mas chegar ao nível particular da amostra: compreender a função da argamassa, o número de camadas, o traço e os constituintes. Por fim, perceber como critério base a análise de uma amostra envelhecida, cujo seu estado inicial não será encontrado nos dias de hoje (Damas et al., 2016).

O processo é multidisciplinar e inclui um plano de estudos que deve analisar as amostras ao nível químico e mineralógico, com maior ou menor detalhe, em função do grau de conhecimento requerido e técnicas disponíveis. Este estudo pressupõe frequentemente uma preparação cuidada das amostras, e pode recorrer a técnicas simples (teste de efervescência com ácido) ou mais complexas, como análise por difração de raio-X, espectroscopia por infravermelho com recurso a transformada de Fourier e análise térmica. Esta análise encaminha, por exemplo, para o conhecimento dos tipos de materiais (areias, pó cerâmico, saibro) utilizados no fabrico da argamassa, para além do ligante utilizado (Appleton, 2011). Para uma caracterização de argamassas históricas e para desenhar soluções compatíveis, é ainda pertinente recorrer-se a ensaios para determinação aproximada do traço e características granulométricas do agregado, assim como das suas propriedades físicas ou mecânicas (Damas et al., 2016; Rosa, 2016).

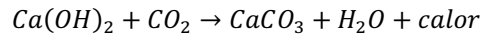
3.2.1 Composição mineralógica

As argamassas antigas são, geralmente, formuladas à base de cal aérea, contendo para além deste ligante, agregados e água. Podem também conter aditivos naturais.

A cal é um ligante por apresentar características que conferem aglutinação dos agregados, cujo produto final é um material sólido, resistente e coeso (Gomes et al., 2013). Os ligantes poderão ser divididos em dois tipos – orgânicos e inorgânicos – sendo que a cal aérea está inserida no grupo dos ligantes inorgânicos. Dentro do grupo de ligantes inorgânicos podemos subdividir em dois tipos – hidráulicos ou aéreos. A característica que os distingue, associada aos ligantes hidráulicos, é a capacidade de realizar presa, endurecer e manter resistência em contacto com água (Gomes et al., 2013).

A matéria-prima frequentemente utilizada na produção da cal são rochas carbonatadas, sendo mais habitual recorrer a rochas calcárias, consideradas mais puras, que apresentam minerais de calcite – carbonato de cálcio – ou a rochas dolomíticas – carbonato de cálcio e magnésio – na sua constituição. Associado a estas rochas, podem ainda surgir outros elementos que são considerados impurezas – argila, silicatos de alumínio e óxido de ferro (Silva, 2018). A NP EN 459-1 (Instituto Português da Qualidade, 2011) estabelece os limites percentuais dos óxidos de cálcio e magnésio constituintes que permitem denominar a cal como dolomítica ou cálcica.

A argamassa de cal aérea não tem capacidade de realizar presa em contacto com a água, mas é necessário associar este elemento para fomentar uma reação química de hidratação da cal viva, obtendo-se cal hidratada (Silva, 2018). Posteriormente, o processo de endurecimento, ganho de presa e aumento de resistência é iniciado através de carbonatação (equação 3.2-1).



[3.2-1]

É relevante que existam condições de humidade relativa entre os 40 e 80%, para que ocorra dissolução do gás de CO₂ através da matriz porosa da argamassa. Esta reacção é exotérmica, daí que um dos produtos de reacção é vapor de água (Silva, 2018; Veiga, 2018).

Vitrúvio descobriu que ao misturar cinzas provenientes do Monte Vesúvio, conferia ganhos de resistência assim como endurecimento debaixo de água, conferindo hidráulidade à cal (Aicher et al., 2001).

Assim, é usual encontrarem-se aditivos naturais nas argamassas históricas, quer naturais quer orgânicos, com o objectivo de conferir características que a cal por si só não possui. Os mais usuais são denominados por aditivos pozolânicos, que se podem definir como materiais de origem vulcânica (ou outra) ricos em alumina e em sílica amorfa reactiva. Quando finamente moídos conferem à argamassa uma capacidade de endurecer em ambientes mais saturados (Almeida et al., 2007; Gomes et al., 2013; Veiga, 2018). De facto, à utilização de aditivos naturais, por vezes com propriedades pozolânicas, poderão encontrar-se associados às diferenças na resistência das argamassas históricas.

Aditivos orgânicos e gorduras também foram utilizados na formulação destas argamassas por possuírem características introdutoras de ar, fomentando a carbonatação da cal (Veiga, 2017). As fibras contribuíam para a redução da retração nas argamassas, melhorando o seu comportamento relativamente ao aparecimento de fissuras (Veiga, 2017).

A engenharia civil relaciona-se com a procura de soluções simples e eficientes na produção de qualquer elemento construído: se os elementos se encontram por perto da obra e apresentam características vantajosas serão aproveitados. Esta realidade reduz os custos associados à matéria-prima como os relacionados com o transporte, situação que ainda hoje se pratica (Margalha et al., 2007).

Antigamente, este pormenor era igualmente valorizado, não tanto na óptica económica, mas na da eficiência: se a natureza nos apresenta o que pretendemos na região, será utilizado. Com as argamassas históricas esta relação é notória e afecta o comportamento da argamassa, uma vez que a natureza mineralógica e distribuição granulométrica dos agregados são factores chave (Margalha et al., 2007; Sena da Fonseca et al., 2020).

A escolha do agregado influencia directamente a resistência final da argamassa de cal aérea, visto que têm impacto directo na difusão do CO₂ ao longo da amostra. A argamassa com elevada permeabilidade relacionam-se com velocidades de carbonatação superiores, e, conseqüentemente, condições mais favoráveis para o endurecimento (Scannell et al., 2014). Outros dois factores relevantes na escolha do agregado, que condicionam o comportamento final da argamassa, resultam na influência que estes poderiam ter na retenção de água e plasticidade da mesma (Scannell et al., 2014).

Nas argamassas históricas, os agregados mais utilizados podem ser divididos quanto à sua natureza mineralógica em dois grupos essenciais: agregados siliciosos, mais duros (provenientes, por exemplo, de rochas graníticas) e agregados carbonatados, tipicamente compostos por grãos angulares ou arredondados de menor dureza (com origem, por exemplo, em calcários) (Scannell et al., 2014).

Os agregados siliciosos são constituídos por minerais macroscopicamente visíveis – sendo os mais comuns o feldspato, quartzo, ou olivina – que conferem às rochas as características mencionadas anteriormente. Relativamente aos agregados calcários, os minerais mais comuns são calcite e dolomite. Assim sendo, as areias provenientes de agregados calcários podem ser calcíticas, com carbonato de cálcio como constituinte principal ou dolomíticas com uma conjugação entre carbonato de cálcio e carbonato de magnésio (Scannell et al., 2014; Silva, 2018).

Concluindo, não só a granulometria do agregado como a sua constituição influenciam as características das argamassas (Sena da Fonseca et al., 2020; Veiga, 2017).

3.2.2 Traço e granulometria

A relação ligante/agregado (traço ponderal) é um factor determinante no comportamento e características que a argamassa adquire quando endurecida (Veiga, 2018). As argamassas de edifícios antigos apresentam composições diversas, em proporção, qualidade dos componentes e tipos de adições utilizados. Os traços apresentam valores entre 1:1 e 1:4, sendo habitual surgir traços de 1:1 a 1:2,5 nos exemplares mais ricos em cal enquanto a variação se encontra no intervalo de 1:2,5 a 1:4 para as situações mais pobres em cal. Estas diferenças podem resultar da função da argamassa e da importância do edifício em que se inserem, nomeadamente, traços mais ricos em ligante surgem de amostras provenientes de palácios, construções militares e até religiosas (Veiga, 2017, 2018).

Sendo os agregados utilizados em construções antigas de origem natural, a sua geometria e granulometria estão tipicamente dependentes da geologia local e dos processos geológicos que lhes deram origem, por exemplo, a intensidade e tipo de alteração que a rocha mãe sofreu assim como a distância e o tipo de transporte que estes sedimentos sofreram. Em todo o caso, a granulometria poderia ser controlada com processos simples de peneiração ou obtida com misturas de vários materiais. A título de exemplo, em Itália, para além de elementos cerâmicos grosseiramente moídos, algumas amostras já estudadas incluíam pó de mármore branco para complementar a granulometria de finos (Lezzerini et al., 2014).

As propriedades do agregado são relevantes, não só por servir como o esqueleto da argamassa, mas também porque a sua forma, granulometria e porosidade influenciam o produto final. Por exemplo, um agregado bem graduado, reduz o volume de vazios assim como fomenta a carbonatação – mistura bem graduada separa as partículas de cal, facilitando a carbonatação e diminui a probabilidade de presença de nódulos de cal (Margalha et al., 2007). Por outro lado, uma mistura graduada mas rica em argila, dificulta uma boa ligação entre o ligante e os agregados de maiores dimensões, criando perda de aderência e conseqüentemente perda de resistência (Huaracha, 2018; Margalha et al., 2007).

O valor de traço 1:3 como referência por Vitruvius, controverso por ser omissivo a utilização de aditivos neste caso, pode-se analisar que para uma areia bem graduada o índice de vazios mínimos seria 33%, e enquadra-se numa argamassa com boa compactidade. Mas se a areia for mal graduada, poderá encaminhar o traço para 1:2 e conferir cerca de 50% de vazios (Appleton, 2011; Veiga, 2018; Veiga et al., 2019)

3.2.3 Caracterização física

As características das argamassas são influenciadas entre outros factores, pelas características físicas das suas principais fases: agregados, interface ligante-agregado e ligante.

As argamassas históricas são, em geral, caracterizadas por possuírem porosidade e permeabilidade elevada. A porosidade total, a distribuição da dimensão dos poros e a superfície específica são valores com relevância para a descrição da estrutura interna das argamassas, e consequentemente, influenciadores das suas características físicas (Groot, 2005).

A quantidade de água necessária para a formulação é apenas dependente das condições de consistência e trabalhabilidade pretendidas. Como já foi mencionado anteriormente, a água adicionada não é consumida nas reações e, com a sua evaporação ao longo do tempo, originam-se espaços vazios que são determinantes para a porosidade no seu estado endurecido (Gomes et al., 2013).

Considerando que os agregados apresentam frequentemente reduzida porosidade quando comparada com a da pasta numa argamassa, as características do ligante possuem um papel determinante nas características físicas globais de uma argamassa. Os nódulos de cal que podem ter uma presença importante em argamassas antigas, como anteriormente mencionado, podem também contribuir para um aumento significativo da porosidade e capacidade de retenção de água. (Scannell et al., 2014).

Segundo Veiga (2009), argamassas com traços mais ricos em cal apresentaram valores de porosidades e coeficientes de capilaridade mais elevados. Por essa razão é que se recorria a variabilidade de traços, assim como de aditivos e adjuvantes, no sentido de melhorar algumas características das argamassas de cal aérea. Estes valores podem ainda ser comparados com formulações de argamassas de cal aérea, realizadas em laboratório.

Segundo o RILEM (25-PEM - Protection et Érosion des Monuments, 1980a), o ensaio de porosidade aberta resulta do rácio entre o volume dos poros com o volume da amostra. Relacionando o mesmo com o ensaio de Massa Volúmica Real e Aparente, consegue-se avaliar não só a extensão do espaço poroso mas também a que poderá estar preenchido por tratamentos de impregnação. Outra propriedade que relaciona o comportamento da água é o coeficiente de absorção de água por capilaridade (25-PEM - Protection et Érosion des Monuments, 1980c). O coeficiente permite caracterizar de forma expedita diversas características de absorção e secagem das argamassas e, assim sendo, relacionar os resultados obtidos com a porosidade e consequente durabilidade (Nogueira et al., 2016).

As argamassas mais ricas em cal teriam condições para criar uma estrutura com maior volume de poros de dimensões reduzidas. Em contrapartida, as argamassas menos ricas poderiam ter uma estrutura porosa de maiores dimensões (Nogueira et al., 2016).

A tabela 3-1 demonstra alguns valores obtidos em estudos realizados por duas referências distintas, com o objectivo de confrontar propriedades físicas de argamassas antigas e formuladas em laboratório. As amostras analisadas por Veiga, (2018) são referentes a argamassas antigas enquanto que as amostras analisadas por Garijo et al., (2020) foram produzidas em laboratório.

Tabela 3-1 Características físicas de argamassas antigas e de argamassas produzidas em laboratório.

Traço	Porosidade Aberta	Coefficiente de Capilaridade	Massa Volúmica Aparente	Referência
Água/ligante	[%]	[kg/m ² .s ^{0,5}]	[kg/m ³]	
1:3	27 - 35	0,14 - 0,31	1780	(Veiga, 2018)
1:2	28 - 39	0,25 - 0,36	1800 - 1830	
1:1	34 - 35	-	-	
1:1 e 1,25	25 - 30	0,14 - 0,21	1800 - 2000	(Garijo et al., 2020)

Comparando os valores, o estudo em laboratório de (Garijo et al., 2020) apresentou valores idênticos em Massa Volúmica Aparente aos de argamassas antigas de (Veiga, 2018), mas ligeiramente inferiores nos restantes propriedades. Os moldes utilizados nos ensaios foram de madeira, para simular uma parede de alvenaria de tijolo humedecida, e em metal. Nos moldes de metal, obtiveram-se resultados de porosidade inferiores, no entanto, onde se denotou melhoria na porosidade e diminuição do Coeficiente de Capilaridade incidu na utilização de agregado calcário triturado face aos de leito de rio – melhorou a coesão entre as partículas no interior da argamassa e a ligação cristalina entre os agregados e a cal aérea (Garijo et al., 2020).

Por fim, para uma identificação das características físicas e o seu comportamento com a água, a tabela 3-2, adaptado de Veiga et al., (2001) e Appleton, (2011) exemplifica alguns dos ensaios que se podem realizar com o objectivo de proceder à caracterização física de argamassas.

Tabela 3-2 - Ensaios e normas para caracterização física de Argamassas históricas. Adaptado de (Appleton, 2011; Veiga et al., 2001).

Caracterização Física						
Comportamento com Água					Comportamento do Material	
Ensaio	Porosidade	Coefficiente de Capilaridade	Massa Volúmica Real/Aparente	Coefficiente de Saturação	Método da Peneiração	Dissolução com Ácido
Norma	RILEM (TI.1)	EN 1015-18	EM 1015-10	RILEM (TII.1)	NP EN 933-1	-
		RILEM (TII.6)	RILEM (TI.2)			

3.2.4 Caracterização mecânica

A caracterização mecânica de argamassas históricas é, geralmente, difícil devido ao tamanho reduzido das amostras e condições das mesmas. Outro pormenor relevante prende-se com a dificuldade de extrapolar a informação obtida de um número limitado e particular de amostras para caracterizar um elemento (Groot, 2005).

Um dos principais aspectos relevantes na recolha de amostras, é a compreensão do comportamento da argamassa pois esta relaciona-se com a função para a qual foi formulada e aplicada. A análise de resultados deve ser feita em conformidade com a sua função, seja ela de revestimento, de assentamento ou de suporte (Ferreira Pinto et al., 2020; Groot, 2005).

Usualmente, as argamassas de cal aérea caracterizam-se por apresentarem uma resistência mecânica reduzida, principalmente comparativamente às argamassas cimentícias. O módulo de elasticidade é, igualmente, reduzido, mas apresentam uma deformabilidade elevada e resiliência às deformações impostas pelos movimentos das alvenarias (Huaracha, 2018).

O ganho de resistência de uma argamassa com cal aérea relaciona-se com o processo de carbonatação, que está condicionado com água necessária para o início da aglutinação, mas não em quantidade exagerada que atrase o início de presa (Gomes et al., 2013). A água em excesso contribui, igualmente, para o aumento da porosidade: a evaporação da água que permanece no interior da argamassa é responsável pelos espaços vazios que se criam e contribuem para a definição final da porosidade do conjunto (Huaracha, 2018). Sumariamente, valores mais elevados de porosidade aberta relacionam-se com o aumento da permeabilidade da argamassa, e, conseqüentemente, com valores de durabilidade baixos que implicam uma resistência mecânica mais fraca (Nogueira, et al., 2016).

Outro factor que se relaciona com a água nas características da argamassa é a retração. No processo de secagem e endurecimento, é usual o surgimento de fissuras. No entanto, a plasticidade global do material e uma carbonatação lenta contribuem para uma diminuição no aparecimento de fissuras. Poderá ainda ocorrer dissolução parcial da calcite, que exposta à água infiltrada e retida nos vazios, desencadeia um processo de recristalização em microfissuras (Sena da Fonseca et al., 2020; Veiga, 2017).

As argamassas de cal integram, por vezes, nódulos brancos de cal que podem, de alguma forma, ser responsáveis por uma menor resistência mecânica das argamassas, uma vez que parte do ligante não contribuiu activamente para o desenvolvimento da resistência (Gomes et al., 2013; Sena da Fonseca et al., 2020).

A escolha do agregado também é impactante na resistência mecânica do conjunto. Se o agregado utilizado apresentar baixa resistência mecânica, é provável que ocorra a rotura da argamassa através do agregado. Por outro lado, agregados com resistência mecânica elevada poderão causar roturas na interface ligante/agregado, assumindo por hipótese que o agregado é mais forte que o ligante (Scannell et al., 2014).

Os agregados utilizados poderão não ter a granulometria que favoreça a compacidade e, este facto, vir a afectar a porosidade da argamassa, que é uma característica relevante para a sua resistência mecânica e durabilidade (Nogueira et al., 2016; Veiga, 2018).

As características mineralógicas do agregado afectam também a resistência mecânica da argamassa (Nogueira et al., 2016). Segundo Scannell et al. (2014), estudos anteriores analisaram indícios de aumento de resistência mecânica, nas argamassas, onde o agregado utilizado apresentou semelhanças mineralógicas com o ligante. Assim sendo, a conjugação de agregado calcário poderá formar uma aglutinação mais favorável ao ganho de resistência final da argamassa, face à utilização de agregado silicioso.

A tabela 3-3 apresenta alguns resultados retirados de três referências distintas, com o objectivo de confrontar propriedades mecânicas de argamassas antigas e formuladas em laboratório. As amostras

analisadas por Silva et al., 2010 e Appleton, 2011 são referentes a argamassas antigas enquanto que as amostras analisadas por Garijo et al., 2020 foram produzidas em laboratório.

Tabela 3-3 Valores de características mecânicas de argamassas de cal aérea.

Caracterização Mecânica					
Referências	Resistência à Compressão [MPa]	Resistência à Flexão [MPa]	Resistência à Tração [MPa]	Módulo de Elasticidade [MPa]	Aderência ao suporte: Pull out [MPa]
(Silva et al., 2010)	2,0 – 3,6	-	-	-	-
(Appleton, 2011)	0,4 – 2,5	0,2 – 0,7	0,2 – 0,7	2000 – 5000	0,1 – 0,3 ou rotura
(Garijo et al., 2020)	0,6 – 1,5	0,3 – 0,55	-	2250 - 2750	0,1 – 0,2

Analisando os valores da tabela 3-3, é curioso comparar os valores de resistência à compressão de Silva et al., 2010 tão elevados relativamente às restantes duas referências. De facto, deve-se aos resultados dos ensaios de argamassas históricas retiradas no Alentejo – Catedral de Évora e Elvas – terem demonstrado a utilização de cal de dolomítica e a inclusão de cloreto de sódio como endurecedor natural da cal. De facto, a utilização de hidróxido de magnésio deu origem a maiores valores de resistência mecânica face à utilização de argamassas de cal calcítica.

Segundo Silva (2018), a utilização de cal dolomítica nas argamassas antigas era interessante em zonas húmidas, devido à precipitação de compostos hidratados de magnésio nas zonas porosas da pasta do ligante. A presença destes compostos recristalizados poderá ser a origem deste incremento de resistência mecânica comparativamente às argamassas de cal calcítica.

As argamassas produzidas em laboratório por Garijo et al., (2020) denotam diversas semelhanças aos valores obtidos em diversas argamassas históricas compiladas por Appleton, (2011). Os únicos valores que demonstram alguma discrepância inserem-se no módulo de elasticidade das amostras laboratoriais. Porém, a utilização de fibras naturais como um componente usual na formulação das argamassas históricas, poderá ser a explicação do aumento do módulo de elasticidade face à formulação realizada em laboratório (Veiga, 2017).

Os valores de resistência à compressão também são ligeiramente inferiores nas amostras produzidas em laboratório. Segundo Garijo et al. (2020), os moldes de metálicos conduziram a perda de resistência mecânica e aumento de porosidade, face aos moldes de madeira, comprometendo os valores médios obtidos. As condições de cura em laboratório, sem ter sido utilizado câmaras climáticas, foi outro pormenor relevante na diminuição de resistência mecânica apresentada.

Para concluir, a tabela 3-4, adaptado de Veiga et al., (2001) e Appleton, (2011), enumera alguns ensaios de caracterização mecânica de argamassas.

Tabela 3-4 - Ensaios e normas para caracterização mecânica de Argamassas históricas. Adaptado de ((Appleton, 2011; Veiga et al., 2001))

Caracterização Mecânica					
Ensaio	Resistência à Compressão	Resistência à Flexão	Resistência à Tração	Módulo de Elasticidade	Aderência ao suporte: Pull out
Norma	EN 1015-11		Veiga (Veiga et al., 2004)	NF B 10-511	EN 1015-12

4 Apresentação e descrição do plano de trabalhos

4.1 Considerações iniciais

O plano de trabalhos para a presente dissertação foi estabelecido com o objectivo de proceder à caracterização de um conjunto de amostras de argamassa provenientes de elementos construtivos que integram o Convento dos Capuchos e, deste modo, contribuir para o conhecimento deste imóvel e para eventual futura formulação de argamassas de reparação compatíveis.

Os locais de amostragem foram decididos pela entidade gestora do Convento, PSML. A amostragem foi realizada por elementos da PSML, na presença do IST.

As 9 amostras, alvo de estudo da presente dissertação, foram sujeitas a uma descrição visual e a um registo fotográfico, apoiado com o preenchimento de fichas de caracterização (Anexo A) com anotações acerca do estado das amostras obtidas, e pormenores da localização exacta da extração, para posterior análise comparativa com os resultados obtidos nos ensaios experimentais.

No laboratório DECivil do IST, foram realizados ensaios de caracterização física, assim como de determinação do comportamento das amostras face à presença de água. Estes ensaios tiveram o seu início com a determinação da porosidade aberta, massa volúmica real e aparente, teor de água máximo e após 48 horas de imersão, e coeficiente de absorção por capilaridade. Procedeu-se também a uma caracterização colorimétrica, realizou-se a dissolução do ligante para determinar a relação resíduo solúvel/insolúvel e caracterização dos agregados, nomeadamente análise granulométrica.

4.2 Amostragem

No primeiro nível do Convento dos Capuchos, foram recolhidas três amostras na Capela da Paixão (denominadas CPE1, CPE2 e CPE3), uma no Herbolário (denominada HE1) e uma na entrada principal (denominada GA1). As localizações detalhadas são facultadas nas figuras 4.1 e 4.2.

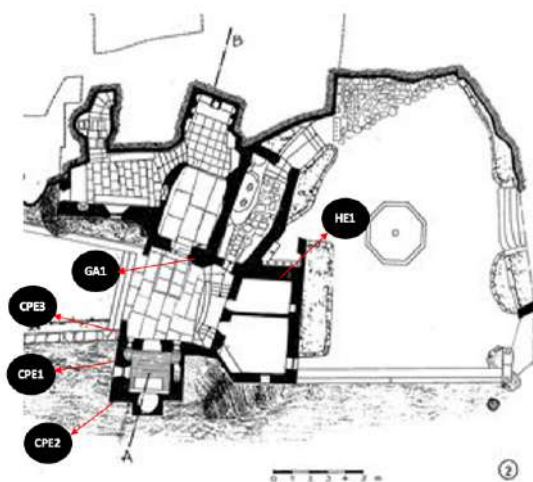


Figura 4.1 Localização das amostras no 1º nível do Convento. Adaptado de (Gamito & Soares, 1964).

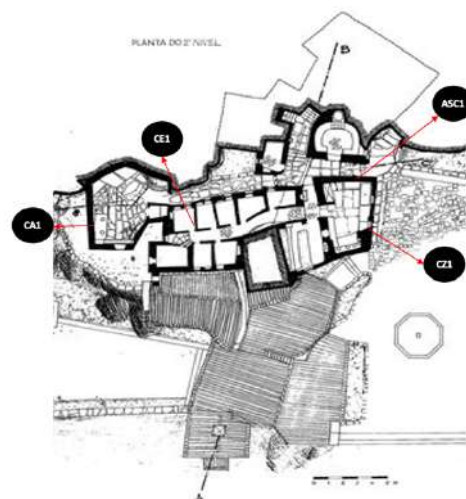


Figura 4.2 Localização das amostras no 2º nível do Convento. Adaptado de (Gamito & Soares, 1964).

No segundo nível do Convento dos Capuchos (figura 4.2), foram extraídas amostras de quatro localizações distintas: cozinha, zona junto ao pavimento (denominação CZ1); cela nº3 do corredor das celas (designação CE1); casa das águas, junto ao pavimento por baixo do pequeno vão (denominação CA1); e na Sala do Capítulo (designação de ASC1).

As amostras do primeiro nível do Convento foram obtidas recorrendo a broca craniana, enquanto as amostras ASC1 e CA1 foram destacadas com auxílio de um escopro. CE1 foi retirada manualmente. As figuras 4.3 a 4.6 ilustram a localização escolhida para a remoção dos exemplares.



Figura 4.3 Localização da amostra GA1.



Figura 4.4 Localização da amostra CPE1.



Figura 4.5 Localização da amostra CPE2.



Figura 4.6 Localização da amostra CPE3.

As amostras GA1, CPE1, CPE2 e CPE3 foram retiradas de rebocos exteriores. O reboco junto ao local de extração de GA1 encontrava-se aderente ao suporte, enquanto que as restantes três amostras foram retiradas de rebocos com pouca aderência. A amostra GA1, figura 4.3, possuía 2 cm de espessura e apresentava-se coesa. A amostra CPE1, apresentava-se coesa, mas sem aderência ao suporte, figura 4.4, sendo recolhidos diversos fragmentos com dimensões variáveis entre 2 e 10 cm.

A amostra CPE2, figura 4.5, foi retirada de um reboco, sem coesão e com sensivelmente 2,5 cm de espessura. Foi necessário recolher fragmentos e pó para complementar a constituição da amostra.

A amostra CPE3, figura 4.6, foi retirada de uma argamassa sobre alvenaria de pedra, obtendo-se uma amostra com 3 a 3,5 cm de espessura.

Relativamente às amostras recolhidas com escopro, a ASC1, figura 4.7, teve a particularidade de integrar um elemento cerâmico. Para além deste elemento, os fragmentos recolhidos apresentavam cor amarelada no lado da argamassa interior e barramento escurecido na face exterior. A amostra CZ1 apresentou, para além da baixa coesão e sem aderência, raízes na sua constituição. Na figura 4.8, é possível observar que esta amostra se encontrava sobre outra argamassa.



Figura 4.7 Localização da amostra ASC1.



Figura 4.8 Localização da amostra CZ1.

A amostra CE1, figura 4.9, foi recolhida com terra humedecida, raízes, elementos cerâmicos e madeira com podridão elevada. A face exposta apresentou uma caiação diluída e alguns nódulos de cal. A amostra CA1, figura 4.10, teve a particularidade de apresentar alguns nódulos de cal com dimensão considerável, entre 0,2 e 1 cm de diâmetro. Para além do exposto, pode ainda acrescentar-se que todos os fragmentos recolhidos da amostra CA1 se apresentavam humedecidos.



Figura 4.9 Localização da amostra CE1.



Figura 4.10 Localização da amostra CA1.

Por fim, a amostra HE1, figuras 4.11 e 4.12, foi recolhida de um reboco escurecido pela aparente presença de biocolonização, apresentando uma espessura de 2,5 a 3 cm. Na sua constituição, salienta-se a presença de nódulos de cal de pequenas dimensões, saibro granítico e elementos cerâmicos.



Figura 4.11 Localização da amostra HE1.



Figura 4.12 Pormenor após recolha da amostra HE1.

A tabela 4-1 sintetiza as diversas amostras para uma leitura facilitada.

Tabela 4-1 Tabela resumo das amostras recolhidas e localização.

Localização	Elemento Construído / Zona amostrada	Aderência ao suporte/Integridade da amostragem	Designação	Observações
Entrada Principal	Canto inferior esquerdo junto ao degrau para hospedaria 1	Aderente / Coesa	GA1	1 Nódulo de cal considerável
Capela da Paixão	Parede exterior lateral direita	Pouco aderente / Coesão média	CPE1	20 fragmentos
	Tardoz exterior atrás do altar	Pouco aderente / Coesão fraca	CPE2	26 fragmentos
	Zona lateral direita, na entrada da Galilé	Pouco aderente / Coesão elevada	CPE3	1 fragmento
Sala do Capítulo	Entrada do átrio, parede exterior lado direito perto da janela	Pouco aderente / Coesão média a baixa	ASC1	Recolhida com cerâmico
Cozinha	Parede interior esquerda junto à pia, zona com lacuna no pavimento	Sem aderência / Coesão baixa	CZ1	Revestimento escurecido
Cela 3	Em frente à cela do guardião, zona de lacuna junto ao pavimento	Aderente / Coesa	CE1	Vestígios de terra e madeira
Casa das Águas	Parede interior lado esquerdo por baixo do vão e junto ao pavimento	Pouco aderente / Coesão elevada	CA1	Teor em água elevado
Herbolário	Parede exterior esquerda na entrada para o Herbolário	Sem aderência / Coesão média	HE1	Alguns nódulos de cal

4.3 Metodologia experimental

A recolha das amostras seguiu o procedimento descrito na figura 4.13.

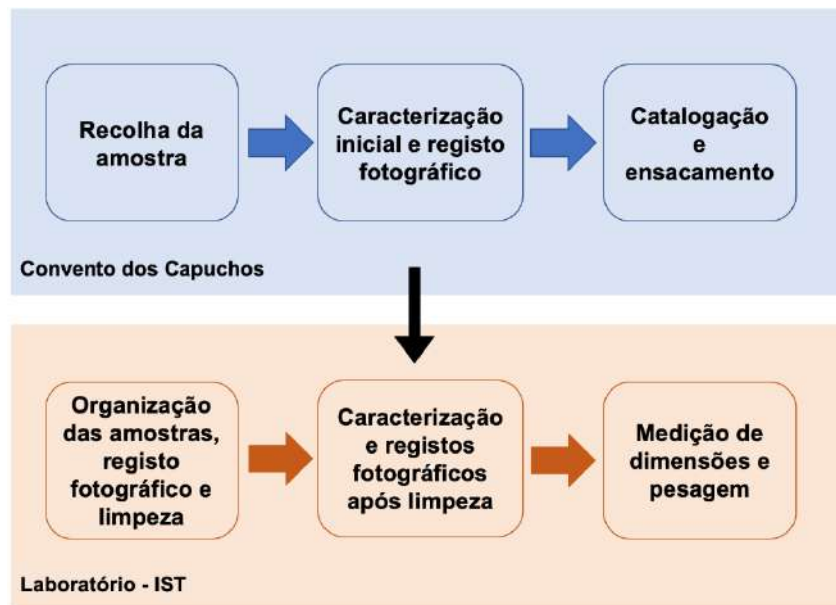


Figura 4.13 Procedimento de recolha das amostras do Convento.

Após a recolha, as amostras foram ensacadas para manter a integridade dos elementos constituintes, caso a caso, e evitar a contaminação por contacto com outras. Denotar que as amostras apresentavam, na sua maioria, vestígios de colonização biológica e, por outro lado, outras foram recolhidas com terra e musgo.

De seguida, definiu-se que seriam realizados novos registos fotográficos e uma limpeza cuidadosa de cada amostra. No entanto, como primeira tarefa, realizou-se uma pesagem das amostras recolhidas que, após limpeza, foram novamente pesadas e fotografadas (figura 4.13).

A campanha experimental incluiu as seguintes determinações e ensaios, esquematizadas posteriormente na figura 4.14:

- Determinação da relação resíduo solúvel/insolúvel por ataque ácido (estimativa da relação ligante/agregado). Metodologia experimental realizada em laboratório;
- Determinação de porosidade aberta, massa volúmica aparente, massa volúmica real e teor de água máximo;
- Determinação de absorção de água após imersão por 48 horas;
- Determinação de absorção de água por capilaridade;
- Caracterização colorimétrica.

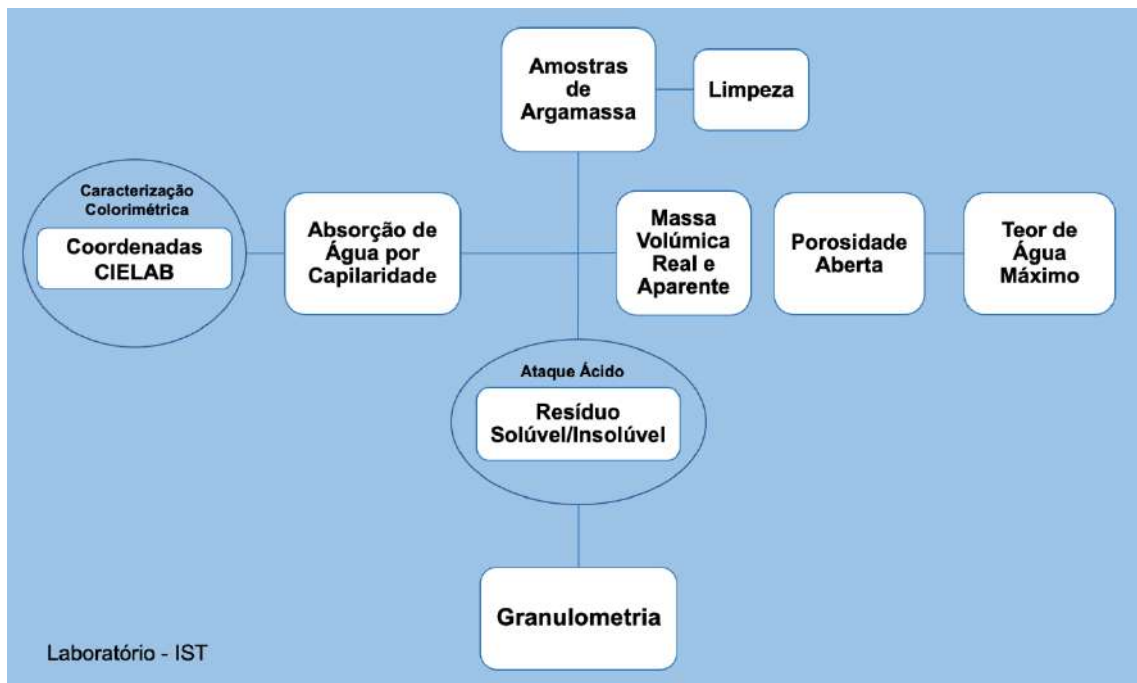


Figura 4.14 Metodologia experimental realizada em laboratório.

4.4 Caracterização física das amostras

4.4.1 Caracterização física macroscópica

As amostras foram caracterizadas quanto à sua tipologia (reboco, assentamento, barramento), morfologia, coesão, presença de nódulos de cal, ocorrência de vazios, biocolonização, geometria e natureza dos agregados e possível presença de outros materiais.

Em laboratório, após realizar a limpeza das amostras, foi possível uma caracterização mais detalhada. Assim sendo, foi elaborada uma tabela focada nos seguintes parâmetros: Número de fragmentos, tipologia, cor, coesão, nódulos de cal e biocolonização. A escala utilizou 4 níveis: elevado (+++), moderado (++), fraco (+), residual ou sem ocorrência (-) e com a terminologia elevada, média, fraca para o parâmetro coesão.

Relativamente à coesão, caso a manipulação manual provocasse perda de material foi considerado o nível fraco, sendo o nível médio associado à perda de fragmentos com pincel de dureza mole, todas as outras foram classificadas como nível elevado.

Para o parâmetro nódulos de cal foi por observação directa e contagem dos mesmos: se todos os fragmentos apresentassem nódulos considerou-se elevado, se estes se apresentassem em apenas metade ou um quarto dos fragmentos considerou-se moderado ou fraco, respectivamente.

Por fim, a biocolonização foi avaliada através da combinação da área preenchida com a dificuldade de realizar a limpeza. Nesta medida, quanto maior a área de biocolonização e a sua resistência ao processo de limpeza, maior será o seu nível de classificação.

4.4.2 Determinação de resíduo solúvel e insolúvel. Dissolução com ácido

A determinação da relação entre o resíduo solúvel e insolúvel das argamassas foi realizada recorrendo ao ataque ácido das amostras, uma vez que a observação visual permitiu verificar a presença de agregado silicioso. Caso contrário, a utilização desta técnica iria dissolver não só o ligante mas também o agregado de natureza carbonatada, perdendo o efeito desejado: considerar a parte solúvel como ligante e a insolúvel agregado (Antunes & Coroado, 2013; De Carvalho Antunes et al., 2016; Sena da Fonseca et al., 2020).

Nas situações em que a observação visual suscitou dúvidas relativamente à natureza do agregado, realizou-se o teste preliminar de efervescência aos agregados. Sucintamente, foram colocadas porções pequenas de agregado, figuras 4.15 e 4.16, em contacto com gotas de ácido e avaliou-se a reactividade. O aparecimento de espuma é indicativo de uma reação forte, devido à presença de um maior teor de carbonato de cálcio.



Figura 4.15 Teste com reactividade às gotas de ácido clorídrico.



Figura 4.16 Teste com baixa reactividade às gotas de ácido clorídrico.

As amostras de argamassa foram desterroadas com recurso a almofariz e pilão de borracha para facilitar a reacção química, como se pode observar na figura 4.17 e 4.18.



Figura 4.17 Pormenor do processo de moagem dos constituintes da amostra.

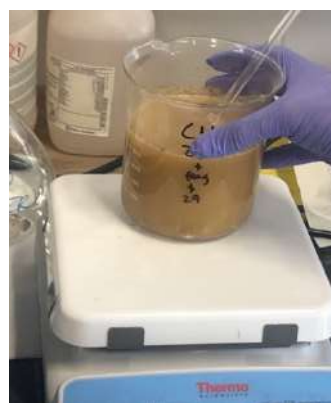


Figura 4.18 Manuseamento de recipientes com ácido munido de EPI adequado.

Sumariamente, a preparação prende-se com a colocação das amostras em estufa após a moagem. Ao retirar da estufa, colocaram-se as amostras no exsiccador com o objetivo de atingirem a temperatura ambiente sem aumento do teor de humidade associado. Alcançando a temperatura desejada, estão reunidas as condições para a pesagem inicial. Sendo este um ensaio destrutivo e irreversível, este

registo da pesagem inicial apresenta uma importância acrescida. De seguida, preparou-se uma solução de 2mol/dm^3 de ácido clorídrico, onde se utilizou 500ml de solução de HCL para 50g a 70g de amostra. Após a preparação da solução, colocam-se os recipientes sobre agitadores magnéticos e a introdução de ácido foi realizada de forma gradual. Fixou-se o período de agitação em 2 horas contínuas, com uma hora de repouso quando finalizado. Na figura 4.19, pode observar-se três amostras antes da colocação da solução ácida, enquanto na figura 4.20 visualiza-se perfeitamente o depósito no fundo do recipiente assim como as partículas em suspensão, após o tempo de repouso.



Figura 4.19 Pormenor de recipientes posicionados para introdução de solução de ácido.



Figura 4.20 Depósito no fundo do recipiente após repouso da solução em contacto com a amostra.

Nesta fase, o ligante carbonatado encontra-se dissolvido e o resíduo sólido remanescente corresponde aos agregados (Rosa, 2016). De seguida, é necessário decantar a mistura e proceder à lavagem do resíduo insolúvel (agregados). O resíduo insolúvel deve ser colocado em estufa para secagem e a sua massa corretamente contabilizada.

Por fim, a partir do rácio exemplificado na fórmula [4.6-1], obteve-se os valores necessários para estimar os rácios resíduo solúvel/insolúvel de cada amostra.

$$\text{rácio} = \frac{M_{\text{solúvel}}}{M_{\text{insolúvel}}} \quad [4.4-1]$$

4.4.3 Determinação das propriedades do agregado: Peneiração

O resíduo insolúvel (agregados), figura 4.21, foi submetido a peneiração. A série de peneiros, com malha quadrada, apresentou as dimensões explanadas na tabela 4-2:



Figura 4.21 Pormenor da amostra completa, com as partículas mais finas visíveis na zona superior da placa de Petri.

Tabela 4-2 Série de peneiros utilizada na peneiração.

Peneiro #	1	2	3	4	5	6	7	8
Dimensão	4mm	2mm	1mm	500µm	250µm	125µm	63µm	<63µm

Após limpeza, pesagem individual e montagem da série completa de peneiros, introduz-se a amostra e a peneiração pode ser iniciada. Devem ser realizados movimentos oscilatórios, de translação e rotação, assim como vibração. O procedimento prossegue com a pesagem dos peneiros, para se obter a massa de retido em cada malha. A massa que atravessa todas as malhas e fica retida na base, é a correspondente à dimensão dos agregados menores que 63µm. Na figura 4.22, podem observar-se os utensílios utilizados para a metodologia, nomeadamente, balança, peneiros e recipientes para catalogar porções de amostra retida com a dimensão correspondente.



Figura 4.22 Pormenor da organização da mesa de trabalho para a metodologia de peneiração.

A percentagem do agregado retido em cada peneiro é calculada a partir da fórmula [4.4-2]:

$$Agregado_{retido} = \frac{m_1}{m_2} \times 100 [\%] \quad [4.4-2]$$

Sendo m_1 a massa retida num dado peneiro da série utilizada e m_2 a massa da amostra inicial antes da peneiração.

O módulo de finura (MF), dimensão máxima ($D_{m\acute{a}x}$) e mínima ($D_{m\acute{i}n}$), D_{60} , D_{30} , D_{10} , Cc e Cu dos agregados são propriedades inerentes a cada amostra e melhoram a caracterização da mesma. Assim sendo, o módulo de finura é obtido a partir da razão demonstrada na fórmula [4.4-3]:

$$MF = \frac{\sum MR}{100} \quad [4.4-3]$$

Sendo o numerador da fórmula anterior referente ao somatório de amostra retida em cada peneiro. Relativamente ao $D_{m\acute{a}x}$, é definido como a menor abertura do peneiro da série utilizada onde passou, pelo menos, 90% da massa da amostra. Por último, $D_{m\acute{i}n}$ corresponde à maior abertura do peneiro da série utilizada onde não passa mais que 5% da massa da amostra.

D_{10} (representa um tamanho, em mm, de modo que 10% das partículas são mais finas do que este tamanho), D_{30} (representa um tamanho, em mm, de modo que 30% das partículas são mais finas do

que este tamanho), D_{60} (representa um tamanho, em mm, de modo que 60% das partículas são mais finas do que este tamanho). Por fim, o coeficiente de uniformidade (Cu) e coeficiente de curvatura (Cc) são calculados a partir das equações 4.4-4 e 4.4-5:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad [4.4-4]$$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}} \quad [4.4-5]$$

4.4.4 Determinação de porosidade aberta

A determinação da porosidade aberta foi realizada segundo os procedimentos descritos em *RILEM Test No. I.1* (25-PEM - Protection et Érosion des Monuments, 1980a).

Para iniciar o ensaio, as amostras (figuras 4.23 e 4.24) foram colocadas em estufa ventilada para secagem a uma temperatura constante de 60°C, com variações permitidas de +/- 5°C. Esta secagem é realizada com o intuito de encontrar duas pesagens consecutivas com uma variação de 0,1% da massa da amostra inicial, num intervalo de 24 horas.



Figura 4.23 Tabuleiro com amostras de 1 a 17.



Figura 4.24 Tabuleiro com amostras de 18 a 30.

A massa M_1 , que corresponde à massa seca, é obtida como passo intermédio entre a retirada das amostras da estufa e colocação num exsiccador com sistema de introdução de vácuo. A pressão baixa gradualmente até 2,667 Pascal e permanecerá constante durante 24 horas. Na figura 4.25, pode observar-se as amostras no exsiccador e a figura 4.26 ilustra o aparelho de introdução de vácuo em funcionamento.



Figura 4.25 Exsiccador com amostras em vácuo.



Figura 4.26 Pormenor da máquina de introdução de vácuo em funcionamento.

Decorridas as 24 horas, e mantendo o sistema de vácuo em funcionamento, adicionou-se água a partir da outra torneira disponível. Esta deve ser introduzida com velocidade controlada, gradual e lenta. Terminada a introdução de água, aguardou-se mais 24 horas.

Após o término destas novas 24 horas, desligou-se o sistema de vácuo e permitiu-se a introdução lenta de ar. As amostras ficaram em repouso mais 24 horas (figuras 4.27 e 4.28).



Figura 4.27 Introdução de ar para estabilização à pressão atmosférica.



Figura 4.28 Pormenor das amostras submersas no interior do exsiccador.

Para finalizar o ensaio, realizam-se duas pesagens distintas. A primeira – a pesagem hidrostática M_2 , executa-se retirando a amostra do exsiccador diretamente para um cesto submerso e acoplado a uma balança. Após a medição, as amostras foram novamente colocadas no exsiccador.

A pesagem para obter M_3 , realiza-se retirando a amostra do exsiccador e, posteriormente, executando uma limpeza do excesso de água com um pano húmido, sem absorver mais que o filme de água existente nas faces da amostra.

A porosidade aberta pode ser então calculada com recurso à fórmula [4.4-6]:

$$P = \frac{M_3 - M_1}{M_3 - M_2} * 100 [\%] \quad [4.4-6]$$

Sendo que M_1 , massa seca da amostra em gramas; M_2 , massa da amostra saturada e pesada hidrosticamente em gramas; M_3 , massa da amostra saturada pesada à pressão atmosférica em gramas.

4.4.5 Determinação da massa volúmica real e aparente

A determinação da massa volúmica real e massa volúmica aparente foram realizados segundo os procedimentos descritos em *RILEM Test No. 1.2* (25-PEM - Protection et Érosion des Monuments, 1980b).

Em termos de preparação e procedimento experimental é em tudo idêntico ao ensaio de Porosidade Aberta, explicado anteriormente. O que distingue os ensaios, é a aplicação de fórmulas distintas para a obtenção dos valores de massas volúmica aparentes (MVA) e reais (MVR).

Assim sendo, para se obter a MVR recorre-se à fórmula [4.4-7], cuja unidade de medida é quilograma por metro cúbico:

$$MVR = \frac{M_1}{M_1 - M_2} * 10^3 [kg/m^3] \quad [4.4-7]$$

Para se obter a MVA recorre-se à fórmula [4.4-8]:

$$MVA = \frac{M_1}{M_3 - M_2} * 10^3 [kg/m^3] \quad [4.4-8]$$

Por fim, a determinação do teor em água máximo, é obtido a partir da fórmula [4.4-9]:

$$W_{m\acute{a}x} = \frac{M_3 - M_1}{M_1} * 100 [\%] \quad [4.4-9]$$

4.4.6 Determinação da absorção de água por imersão (após 48 horas)

Para determinar o teor em água após 48 horas de imersão em água, à pressão atmosférica, colocou-se as amostras em estufa ventilada a 60°C, com variações permitidas de +/- 5°C, durante 2 horas. Posteriormente, as amostras foram retiradas, uma a uma, e pesadas para se obter a sua massa seca, M_{seca} . Seguidamente, foram imersos em água, com a disposição exemplificada na figura 4.29.



Figura 4.29 Amostras imersas em água para determinar teor em água após 48 horas.

Decorridas as 48 horas, retiraram-se as amostras, novamente uma a uma, e procedeu-se à limpeza do filme de água como explicado anteriormente para se realizar a pesagem a massa saturada, M_{sat} . O teor de água é calculado a partir da fórmula [4.4-10]:

$$W_{48h} = \frac{M_{sat} - M_{seca}}{M_{seca}} * 100 [\%] \quad [4.4-10]$$

Por fim, designa-se por coeficiente de saturação, C_{sat} , a razão entre o teor em água após 48 horas de imersão e o teor máximo em água. Esta razão, descrita na fórmula [4.4-11], permite averiguar a facilidade de saturação das amostras sendo mais um indicador que complementa a análise do comportamento das amostras na presença de água (Almeida Santos, 2013).

$$C_{sat} = \frac{W_{48h}}{W_{m\acute{a}x}} * 100 [\%] \quad [4.4-11]$$

4.4.7 Determinação da absorção de água por capilaridade

A determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade foi realizada segundo os procedimentos descritos em *RILEM Test No. II.6. (25-PEM - Protection et Érosion des Monuments, 1980c)*

Para este ensaio, as amostras devem apresentar uma superfície de contato relativamente uniforme. Será essa superfície que se encontrará sobre uma membrana geotêxtil e embebida, com altura de água constante com de cerca de 2 mm.

Para uma medição mais correta possível da área de superfície de cada amostra, utilizou-se um *software* de análise de imagem. Este serviu para analisar a área pintada delimitada por cada amostra, como se pode observar na figura 4.30. A figura 4.31, exemplifica a disposição das amostras inseridas em cestos.

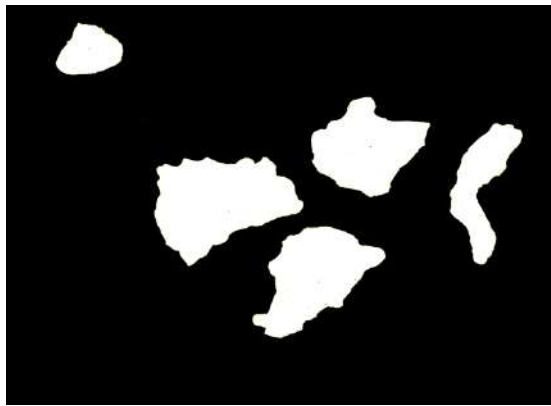


Figura 4.30 Superfície de contacto obtida por software de análise de imagens.

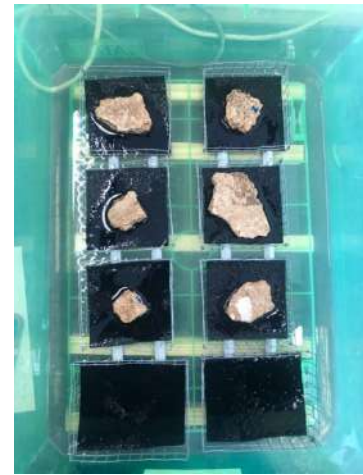


Figura 4.31 Pormenor do sistema de cestos com geotêxtil para auxiliar a pesagem.

As amostras foram colocadas em exsiccador, durante 1 hora, para redução do teor de humidade antes da pesagem inicial. De seguida, as amostras foram colocadas dentro de um recipiente com um filme de água com cerca de 2 mm. Para fomentar a absorção de água capilar pelas amostras, estas foram colocadas em cestos individuais cuja base apresentava um geotêxtil, como se pode observar na figura 4.31. Deste modo, consegue-se que a água seja conduzida para a área de superfície apoiada da amostra. Posteriormente, foi necessário realizar pesagens das amostras. Assim sendo, optou-se por realizar a pesagem do sistema cesto/geotêxtil/amostra para garantir que a superfície de contacto se mantinha estabilizada ao longo do tempo do ensaio.

A tabela 4-2 demonstra os intervalos definidos para a realização da pesagem de cada amostra.

Tabela 4-3 Intervalos de tempos utilizados no procedimento.

Intervalos	Tempo [min]	Observações
1º	3, 6, 9, 12, 15	3 em 3 min
2º	20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60	5 em 5 min
3º	75, 90	15 em 15 min
4º	120, 240, 360, 480	120 em 120 min
5º	1440	1320 min

Por fim, o coeficiente de capilaridade é obtido a partir do declive da reta entre a massa de água absorvida por área de contacto em função da raiz quadrada do tempo.

4.5 Caracterização colorimétrica das amostras

A CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) é uma organização mundial que se foca no estudo da ciência da luz, fotobiologia e tecnologia da imagem. Fundada em 1900 com outra denominação,

mas reorganizada em 1913 para o nome atual, tornou-se então numa entidade reconhecida nos meios de normalização (CIE, n.d.)

Segundo a norma EN ISO/CIE 11664-4:2019, em 1976 foi proposto um procedimento de cálculo de coordenadas $L^*a^*b^*$ no espaço de cor, denominado CIELAB.

Estas coordenadas foram criadas no pressuposto de correlacionarem constantemente os valores da cor com a percepção visual, utilizando como pressuposto que a mesma cor não poderá ser nenhuma cor primária, ou conjugação das mesmas, ao mesmo tempo (Minolta, 2014).

Relativamente aos parâmetros utilizados, o L^* corresponde à luminosidade e apresenta um intervalo de valores entre 0 e 100. O parâmetro a^* corresponde à variação entre a cor vermelho e verde, em que a^+ representa vermelho e a^- representa verde. Por último, o parâmetro b^* corresponde à variação entre a cor amarelo e azul, em que b^+ representa amarelo e b^- a cor azul. Na figura 4.32, pode ser observada uma representação do espaço tridimensional criado por este sistema de coordenadas.

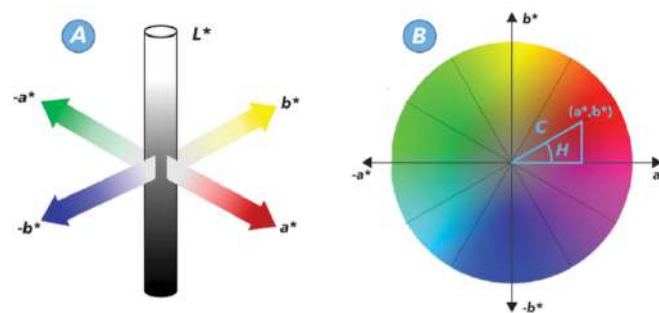


Figura 4.32 Espaço de cor tridimensional segundo CIELAB. Adaptado de (Delazio et al., 2017).

Aproveitando a possibilidade de caracterização no espaço, denomina-se Croma à distância Euclidiana entre os parâmetros a^* e b^* da cor, que pode ser observada na fórmula [4.5-1].

$$Croma = \sqrt{a^2 + b^2} \quad [4.5-1]$$

Assim, obtém-se uma representação 2D, que conjugada com o parâmetro da luminosidade, resulta numa definição completa da cor.

A caracterização colorimétrica foi realizada recorrendo a um espectocolorímetro. Realizaram-se 63 medições, com uma média de 6 por amostra, com o intuito de caracterizar ambas as faces de argamassa: interior e exterior.

5 Caracterização de argamassas do Convento dos Capuchos

5.1 Considerações iniciais

O presente capítulo inicia-se com uma descrição visual das amostras, após limpeza realizada no laboratório DECivil. De seguida, apresentam-se os resultados obtidos referentes à composição e granulometria do agregado, caracterização física e colorimétrica das amostras de argamassa.

A composição e granulometria foram realizadas após conclusão dos ensaios anteriores do procedimento experimental, visto a dissolução com ácido ser um ensaio destrutivo.

A caracterização física foi realizada com o intuito de avaliar as propriedades e o comportamento das amostras em contacto com água.

A caracterização colorimétrica realizou-se com o objetivo de quantificar, segundo as coordenadas CIELAB, a cor de cada amostra. Este foi o primeiro ensaio realizado, para salvaguardar as propriedades que poderiam afetar a cor com o início dos ensaios de caracterização física.

5.2 Descrição visual

As amostras GA1, CPE1, CPE2, e CZ1 integravam diversos fragmentos de dimensões variadas. As amostras ASC1, CE1 e HE1 integravam um menor número de fragmentos, mas igualmente de dimensões variadas. As amostras ASC1 e CE1 integravam um elemento cerâmico e dois de madeira na sua constituição, respectivamente. Por fim, as amostras de CPE3 e CA1 (figuras 5.1 e 5.2) corresponderam a apenas um fragmento com dimensões superiores aos das restantes amostras.



Figura 5.1 Amostra CPE3 antes do procedimento de limpeza.



Figura 5.2 Amostra CA1 antes do procedimento de limpeza.

Relativamente à biocolonização presente nas amostras, as amostras GA1, CPE3 e CA1 foram as que necessitaram de limpeza mais ligeira, visto não apresentarem indícios de biocolonização. As restantes foram todas sujeitas a uma limpeza cuidadosa, com maior incidência na amostra ASC1, por incluir uma camada considerável de matéria biológica, e na CZ1 por não ser possível avaliar com clareza se os

fragmentos estariam com biocolonização ou revestidos com barramento. Nas figuras 5.3 a 5.5 é possível observar dois exemplos do aspecto das amostras antes e após a sua limpeza. A figura 5.5, apresenta o pormenor da face interior de alguns fragmentos.



Figura 5.3 Amostra ASC1 antes do procedimento de limpeza.



Figura 5.4 Amostra CZ1 antes do procedimento de limpeza.



Figura 5.5 Amostras ASC1, em cima, e CZ1, após limpeza, e pormenor interior de alguns fragmentos.

As amostras que apresentaram menor coesão foram a GA1 e CZ1. Os fragmentos de CZ1 sofreram perda de material apenas como resultado da sua manipulação, enquanto que os fragmentos de GA1 (figura 5.6) se tornavam friáveis com a utilização do pincel de limpeza. Relativamente às restantes, as amostras CPE1 e CPE2, figuras 5.7 e 5.8, revelaram comportamentos semelhantes, no entanto, foi detectada uma menor coesão na amostra CPE2 por comparação. As amostras CE1, HE1 e ASC1 só mostraram indícios de perda de coesão nos fragmentos de menor dimensão. Por fim, a amostra CPE3 revelou coesão superior às restantes.



Figura 5.6 Amostra GA1 após procedimento de limpeza.



Figura 5.7 Amostra CPE1 após procedimento de limpeza.



Figura 5.8 Amostra CPE2 antes do procedimento de limpeza.

A presença de nódulos de cal foi notória na maioria das amostras, com dimensão variável, com excepção das amostras ASC1 e CPE2. Nas amostras CE1 e CZ1, a presença de nódulos foi acompanhada com um maior número de vazios comparativamente com as restantes.

A amostra CA1 distinguiu-se das restantes por apresentar duas camadas perfeitamente definidas de argamassa – camada exterior com cerca de 4cm e mais coesa; camada interior com menor coesão e maior número de nódulos de cal com dimensões diferentes.

Por fim, as amostras demonstraram uma tonalidade bege acastanhada na camada interior. Relativamente à face exposta, as amostras CPE1, CPE2, ASC1 e HE1 revelaram uma camada de barramento cinzento escurecido com sensivelmente 0,2cm de espessura. A amostra CZ1 detinha barramento com tonalidade cinzento azulado, igualmente com 0,2cm de espessura. Por fim, a amostra de CE1 apresentou apenas uma caiação muito ligeira com tonalidade azul.



Figura 5.9 Amostra CE1, face interior, com alguns vazios e nódulos de cal.












Figura 5.10 Amostra de HE1, face interior, e nódulos de cal em diversos fragmentos.



Figura 5.11 Amostra HE1, face exterior.

A tabela 5-1 apresenta um resumo das descrições macroscópicas das amostras recolhidas.

Tabela 5-1 Quadro resumo da descrição visual das amostras. +++: elevado; ++: moderado; +: fraco; -: residual ou sem ocorrência.

Amostra	Observações		Fotografia	Amostra	Observações		Fotografia	Amostra	Observações		Fotografia
CPE1	Nº Frag.	20		GA1	Nº Frag.	11		ASC1	Nº Frag.	8	
	Cor	Bege			Cor	Bege claro			Cor	Bege escuro, cinza	
	Coesão	Média			Coesão	Muito fraca			Coesão	Média	
	Nódulos	++			Nódulos	++			Nódulos	-	
	Biocol.	+			Biocol.	-			Biocol.	+++	
	Tipo	Argamassa de reboco			Tipo	Argamassa de reboco			Tipo	Argamassa de reboco	
CPE2	Nº Frag.	26		CZ1	Nº Frag.	13		CE1	Nº Frag.	2	
	Cor	Bege e cinza			Cor	Cinza, bege			Cor	Bege	
	Coesão	Fraca			Coesão	Fraca			Coesão	Média	
	Nódulos	-			Nódulos	++			Nódulos	+++	
	Biocol.	+			Biocol.	+			Biocol.	+	
	Tipo	Argamassa de reboco			Tipo	Argamassa de reboco			Tipo	Argamassa de reboco	
CPE3	Nº Frag.	1		HE1	Nº Frag.	8		CA1	Nº Frag.	1	
	Cor	Bege, cinza, castanho			Cor	Bege, cinza			Cor	Bege escuro	
	Coesão	Elevada			Coesão	Média / Fraca			Coesão	Elevada	
	Nódulos	+			Nódulos	+++			Nódulos	++	
	Biocol.	-			Biocol.	++			Biocol.	-	
	Tipo	Argamassa de reboco			Tipo	Argamassa de reboco			Tipo	Argamassa de reboco	

5.3 Composição e granulometria do agregado

O procedimento experimental da dissolução com ácido, permitiu obter os valores de composição das amostras expressos na tabela 5-2.

Tabela 5-2 Relação resíduo solúvel/insolúvel (estimativa do traço).

Localização	Amostra	Relação resíduo solúvel/insolúvel (estimativa do traço)
Capela da Paixão	CPE1	1:2,3
	CPE2	1:2
	CPE3	1:6,2
Entrada Principal	GA1	1:2,4
Cozinha	CZ1	1:3,3
Herbolário	HE1	1:4
Sala do Capítulo	ASC1	1:2,4
Cela 3	CE1	1:3,5
Casa das Águas	CA1	1:2,8

Os resultados da relação resíduo solúvel/insolúvel são da ordem de grandeza dos valores compreendidos entre 1:2 a 1:4, frequentemente reportados na sequência do estudo de argamassas históricas. No entanto, a amostra CPE3 revelou um valor muito pobre em ligante. As amostras CPE1 e CPE2 demonstram valores idênticos, sendo estes expectáveis tendo em conta a localização da extração, enquanto que CPE3 apresenta valores díspares. A amostra GA1 difere da de CPE3 devido ao facto da massa de ligante ser superior, ajustando em conformidade o valor do traço respectivo. A amostra CZ1 revelou o valor de massa de agregado mais elevado das amostras, assim como massa de ligante das mais altas do conjunto, reflectindo-se num valor de traço equilibrado.

A tabela 5-3, foi elaborada com base nos resultados obtidos por Damas et al. (2016) em quatro edifícios da mesma época de construção do Convento dos Capuchos. Os dois edifícios religiosos, apresentam valores de traço idênticos à generalidade das amostras ensaiadas na presente dissertação, enquanto que os restantes dois já se aproximam do resultado de CPE3.

Tabela 5-3 Dados de composição de argamassa de quatro edifícios do Século XVI. Adaptado de (Damas et al., 2016).

Localização	Catedral Elvas (Séc. XVI)	Capela do Castelo Amieira (Portalegre, Séc. XVI)	Palácio Centro Histórico Palmela (Séc. XVI)	Sé Nova de Coimbra (Séc. XVI)
Tipo de Edifício	Religioso	Militar	Residencial	Religioso
Traço	1:3,5/1:4,5	1:5,5	1:12	1:2
Revestimento	Interior / Parede Alvenaria	Exterior Parede Alvenaria	Parede Alvenaria	Exterior

As amostras retiradas do exterior, nomeadamente CPE1, CPE2 e ASC1, revelaram um valor de traço muito próximo a 1:2 associado a argamassas de reboco exterior (Appleton, 2011; Veiga, 2018), enquanto que HE1 revelou valor de traço associado a reboco interior. Relativamente a CPE3, o valor do traço enquadra-se no valor de traço de reboco exterior associado a edifício militar (Appleton, 2011; Damas et al., 2016).

Relativamente às amostras retiradas do interior, CA1 e CE1 são muito idênticas na massa de agregado da sua constituição. No entanto, o valor de traço obtido de CA1 aproxima-se mais de argamassa de reboco exterior enquanto que CE1 numa argamassa de reboco interior.

Por fim, a amostra CZ1 revelou um traço próximo do associado a argamassa de reboco interior. De facto, para além de ter sido retirada de um compartimento interior, os diversos fragmentos com barramento cinzento azulado corrobora os valores obtidos.

Resumidamente, os resultados obtidos com as amostras do Convento dos Capuchos enquadram-se nas características associadas a outros edifícios construídos no mesmo século, revelando analogias com os valores apresentados por (Damas et al., 2016) no tipo de revestimento e no traço.

- **Características dos agregados**

As curvas granulométricas da totalidade das amostras podem ser observadas na figura 5.12. Na generalidade, as amostras apresentaram similaridade na distribuição dos agregados.

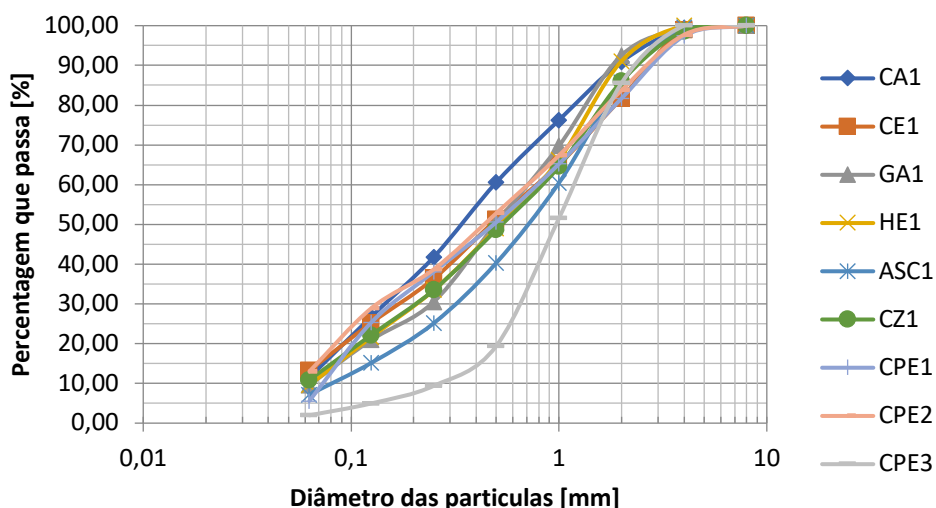


Figura 5.12 Curvas Granulométricas das amostras analisadas.

Os dados complementares de caracterização da granulometria das amostras, nomeadamente módulo de finura, $D_{máx}$, D_{min} , D_{60} , D_{30} , D_{10} , C_u e C_c dos agregados podem ser visualizados na tabela 5-4.

Numa primeira instância, denota-se que as amostras CPE2, CZ1, CE1 e CA1 não apresentaram dimensão de partículas cuja percentagem cumprisse o D_{10} . Assim sendo, os coeficientes de curvatura e uniformidade destas amostras fica indefinido.

Tabela 5-4 Dados complementares de caracterização dos agregados.

Amostras	CPE1	CPE2	CPE3	GA1	CZ1	HE1	ASC1	CE1	CA1
MF	4,36	4,18	5,27	4,27	4,36	4,29	4,66	4,28	3,93
D_{máx} [mm]	4	4	4	2	4	2	4	4	2
D_{min} [mm]	<0,063	<0,063	0,125	<0,063	<0,063	<0,063	<0,063	<0,063	<0,063
D₆₀ [mm]	0,78	0,70	1,19	0,71	0,82	0,79	0,99	0,77	0,49
D₃₀ [mm]	0,16	0,14	0,63	0,24	0,20	0,20	0,31	0,17	0,15
D₁₀ [mm]	0,073	n.d.	0,261	0,065	n.d.	0,064	0,080	n.d.	n.d.
C_u	10,6	n.d.	4,6	10,9	n.d.	12,2	12,3	n.d.	n.d.
C_c	0,5	n.d.	1,3	1,3	n.d.	0,8	1,2	n.d.	n.d.

Os valores do módulo de finura variaram entre 3,93 e 5,27, D_{min} é <0,063mm em todas as amostras, excepto CPE3 que revelou 0,125mm, e o $D_{máx}$ variou entre 2 e 4mm. O coeficiente de curvatura variou entre 0,5 e 1,3 enquanto que o coeficiente de uniformidade variou entre 4,6 e 12,3. Segundo a Classificação Unificada de Solos, como o $C_u > 3$ e $1 \leq C_c \leq 3$, pode-se considerar que os agregados enquadram-se na classificação de areia bem graduada.

Relativamente às curvas granulométricas representadas na figura 5.12, visualiza-se 3 curvas que destoam das restantes: CPE3, ASC1 e CA1. CPE3 revelou os valores mais elevados de módulo de finura e D_{min} , representando a amostra com as partículas de maiores dimensões enquanto que CA1 foi a amostra cujas partículas revelaram dimensões mais pequenas. Relativamente a ASC1, o valor de C_u foi o mais elevado das amostras, sendo considerado mediantemente uniforme.

Com excepção na amostra CPE3, é possível ainda verificar através de uma observação macroscópica dos agregados de maiores dimensões que apresentam uma natureza mineralógica compatível com a geologia da região da Serra de Sintra. Os minerais visíveis macroscopicamente são silicatados, maioritariamente de quartzo e feldspato, e tendencialmente angulosos. Estes agregados poderão estar associados aos granitoides de tom rosado ou róseo-amarelado que afloram na região.

Como mencionado anteriormente, a curva granulométrica da amostra CPE3 destaca-se das restantes. As figuras 5.13 e 5.14, permitem observar uma ampliação dos agregados presentes na amostra e a

presença de grãos com cores cinza, bege e castanho e ausência de material cerâmico visível macroscopicamente. A forma dos agregados é, na sua maioria, sub-arredondada e arredondada.



Figura 5.13 Amostra CPE3.



Figura 5.14 Amostra CPE3 ampliada.

Comparando com as restantes amostras, os agregados encontrados não apresentam estas características geométricas e as suas dimensões são na sua maioria menores. O valor corresponde ao diâmetro mínimo do agregado obtido, foi o único que não se manteve no valor menor que 0,063mm. Estas disparidades de características podem, por hipótese, relacionar-se com o facto desta amostra CPE3 ter sido formulada mais recentemente e com agregados seleccionados especificamente e não provenientes da envoltória do Convento.

5.4 Caracterização física

As propriedades físicas das amostras encontram-se expressos na tabela 5-5.

Tabela 5-5 Identificação das amostras e valores obtidos nos diversos ensaios realizados.

Amostra		P	σ	W_{48h}	σ	$W_{m\acute{a}x}$	σ	C_{sat}	MVA	σ	MVR	σ
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
CPE1	1	44,25	0,62	28,3	0,65	30,9	0,67	91	1432	12	2569	8,51
	2	44,26		27,9		31,0		90	1427		2560	
	3	42,83		27,4		29,4		93	1455		2544	
	4	43,40		27,2		29,9		91	1449		2560	
	5	42,94		26,4		29,5		89	1456		2551	
CPE2	6	45,53	0,73	28,9	0,34	32,7	1,01	88	1393	20	2558	8,54
	7	47,40		28,7		35,1		82	1350		2566	
	8	45,49		28,6		32,5		88	1398		2565	
	9	45,41		27,9		32,3		86	1405		2575	
	10	45,33		28,7		32,4		89	1401		2562	
	11	45,50		28,5		32,3		88	1408		2584	
CPE3	12	25,51	-	10,2	-	13,1	-	77	1942	-	2607	-
HE1	13	36,09	-	17,1	-	21,7	-	79	1660	-	2598	-
ASC1.A	14	40,25	2,86	23,0	2,90	26,0	2,80	88	1548	73	2592	1,93
ASC1.C	15	34,54		17,2		20,4		84	1694		2588	
CZ1	16	37,03	-	20,8	-	22,8	-	91	1627	-	2583	-
CA1	17	41,06	-	24,0	-	27,1	-	89	1518	-	2575	-
CE1	18	36,64	0,49	19,9	0,33	22,3	0,46	89	1642	11	2592	2,44
	19	37,84		20,5		23,4		88	1615		2597	
	20	37,09		19,8		22,7		87	1632		2595	

• Porosidade aberta e massas volúmicas

As amostras analisadas revelaram valores de porosidade compreendidos entre 25 e 47%. Os valores extremos de porosidade foram obtidos em CPE2 e CPE3. CPE1 – valor de 43,5%, e CPE2 – valor de 45,7%, foram extraídos de um paramento exterior, enquanto que a amostra CPE3 – valor de 25,5%, foi retirada de zona coberta pelo telheiro. É de realçar que a amostra da CA1 – valor de 41%, sendo um espaço interior, apresenta valores idênticos às amostras CPE1 e CPE2. A figura 5.15 apresenta os valores de porosidade.

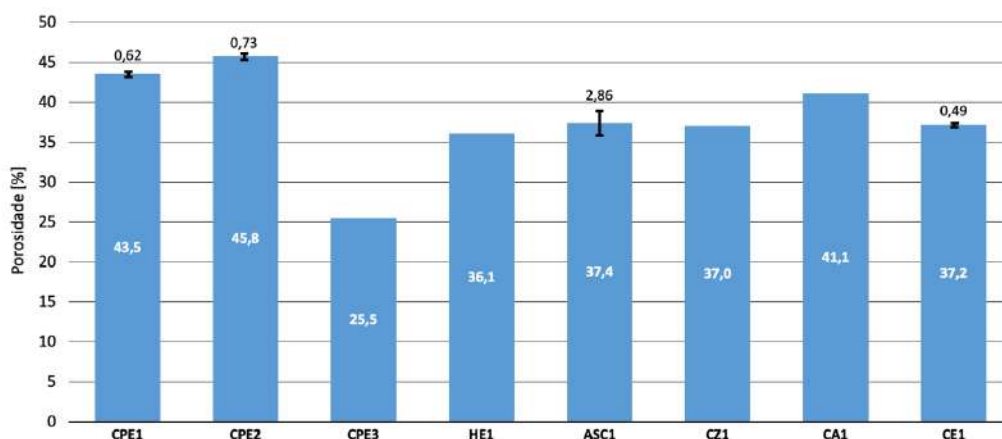


Figura 5.15 Valores de porosidade obtidos.

Os valores de massa volúmica aparentes obtidos variam entre 1393 kg/m^3 e 1942 kg/m^3 . Neste caso particular, a amostra que apresenta maior MVA é a que apresentou menor porosidade – a CPE3. As restantes duas amostras CPE apresentam os valores mais baixos de todas as amostras analisadas, 1393 kg/m^3 e 1444 kg/m^3 para CPE2 e CPE1, respectivamente. Os resultados das outras cinco amostras, que poderá ser observado na figura 5.16, demonstra uma tendência regular. Assim sendo, os resultados estão alinhados com os valores de porosidade obtidos.

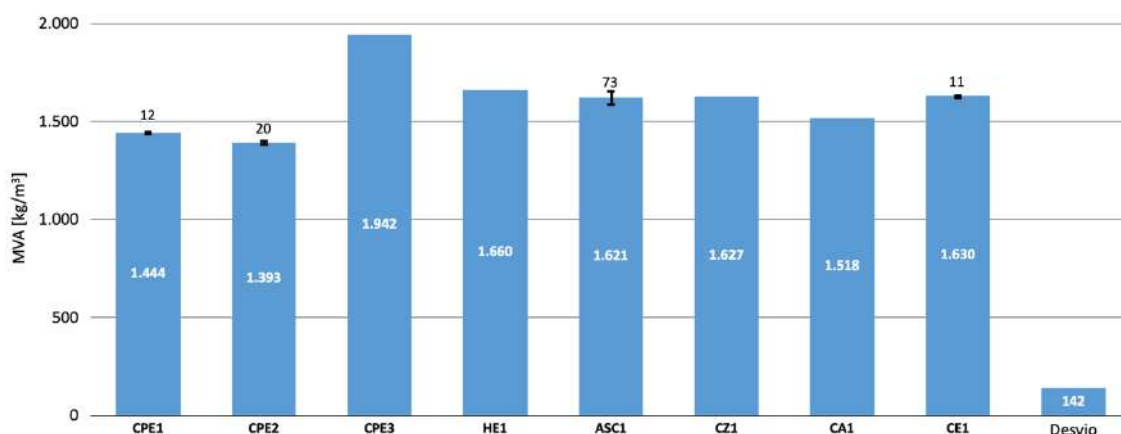


Figura 5.16 Valores de massa volúmica aparente obtidos.

Os valores obtidos de porosidade estão de acordo com o expectável para argamassas históricas, assim como os valores de MVA, como referido no capítulo 3. A variabilidade nos valores de MVA podem estar associadas a diversos factores – relação resíduo solúvel/insolúvel, granulometria dos agregados, propriedades do ligante, água de amassadura, compactação (Sena da Fonseca et al., 2020).

O valor de porosidade que mais se destaca refere-se à amostra de CPE3 que é substancialmente inferior aos restantes, assim como o seu valor de MVA é igualmente superior. Relacionando estas características com as referidas em subcapítulos anteriores, a amostra CPE3 revelou uma granulometria distinta – densidade, dimensão superior, forma sub-arredondada e arredondada – com

um traço de 1:6,2. Estes resultados sugerem uma argamassa pobre em ligante, com elevada compacidade e bem compactada. Os nódulos de cal eram escassos, indiciando uma boa hidratação sem floculação e coesão elevada com ausência de vazios. Esta amostra tem características que, mais uma vez, indiciam ter sido uma argamassa formulada e executada recentemente comparativamente às restantes.

Os valores de massa volúmica real apresentam reduzida variabilidade e encontra-se compreendidos entre 2557 kg/m³ e 2607 kg/m³, figura 5.17.

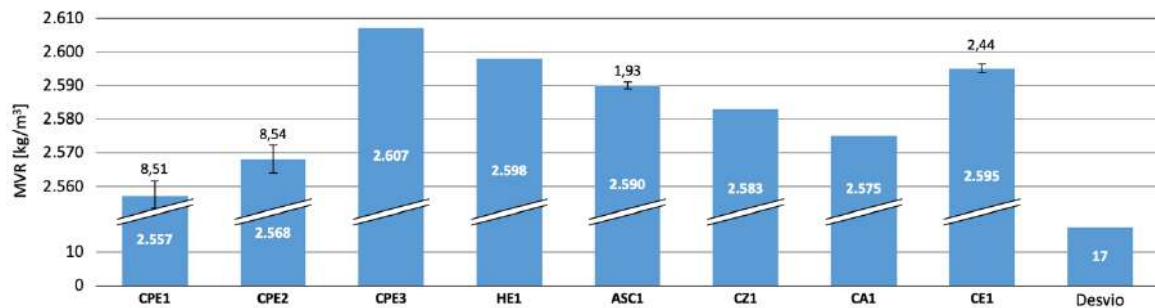


Figura 5.17 Valores de massa volúmica real obtidos.

Relativamente ao MVR pode-se observar novamente uma relação intrínseca entre os resultados obtidos com a relação resíduo solúvel/insolúvel, nomeadamente, o aumento da relação coincide com uma diminuição da capacidade de retenção de água das amostras – e consequentemente menor espaço poroso permeável. As amostras CPE1 e CPE2 apresentam a relação mais baixa de resíduo solúvel/insolúvel, e expectavelmente os valores mais baixos de MVR – 2557 e 2568 kg/m³ respectivamente. No entanto, a amostra ASC1 tem um ligeiro aumento de MVR mesmo para valor idêntico da relação resíduo solúvel/insolúvel a CPE1. Este pormenor poderá dever-se, por hipótese, a diferenças na granulometria dos agregados que conferem uma maior permeabilidade do espaço poroso de ASC1. A face a CPE1 mesmo com valores percentuais de porosidade distintos – e mais elevado na amostra de CPE1 face a ASC1.A.

As amostras CE1 e HE1 revelaram valores de MVR muito próximos, comprovadamente observada na relação intrínseca mencionada anteriormente – relação resíduo solúvel/insolúvel mais baixos reflectiu-se em maior capacidade para reter água das amostras com valores na ordem de grandeza de 2598 kg/m³.

- **Teor em água após 48h, teor em água máximo e coeficiente de saturação**

Os resultados demonstrados anteriormente podem ser complementados com os valores de saturação após 48 horas de imersão, com saturação máxima calculada e com o coeficiente de saturação.

Relativamente aos valores obtidos, é provável que haja uma relação intrínseca entre os valores de porosidade e de saturação de cada amostra. E de facto é comprovado na maioria dos casos analisados – os valores percentuais mais elevados de porosidade são os que apresentam maior saturação após 48 horas de imersão. No entanto, a amostra HE1 – valor de W_{48h} de 17,1%, apresenta um resultado três pontos percentuais abaixo das restantes amostras com valor idêntico de porosidade – CE1 com valor de 20,1%, CZ1 com valor 20,8% e ASC1 com valor de 20,1%. Todos os resultados obtidos podem ser visualizados na figura 5.18.

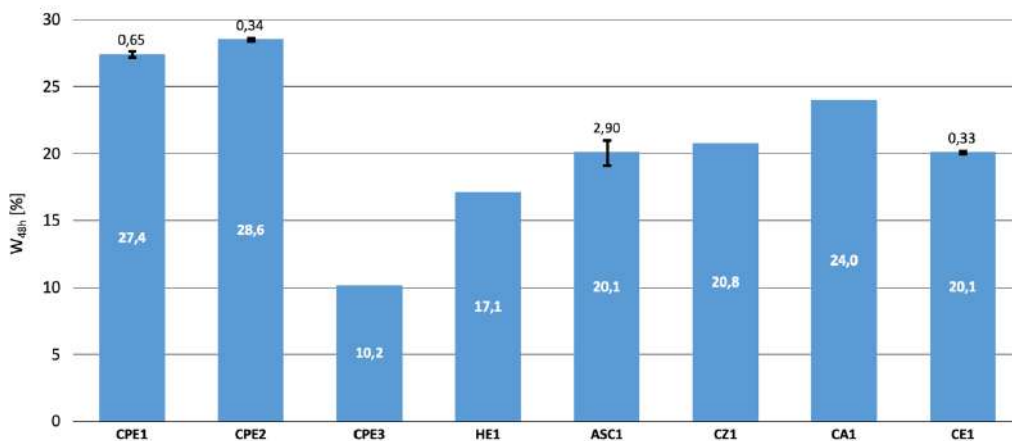


Figura 5.18 Valores do teor em água após 48h de imersão em água.

Ocorreu um incremento em todos os casos, mas destaca-se o caso de CZ1 – com valor de $W_{máx}$ de 22,8%, cujo aumento foi de apenas 1,9%. As restantes amostras obtiveram incrementos na ordem de 2,7 a 4,6%. A amostra HE1 foi a que, efectivamente, revelou a maior variação. Pode-se constatar que a HE1 demorou mais tempo que as restantes amostras a atingir saturação elevada, mesmo para um valor de porosidade de 36%. Os resultados obtidos para a saturação máxima podem ser consultados na figura 5.19.

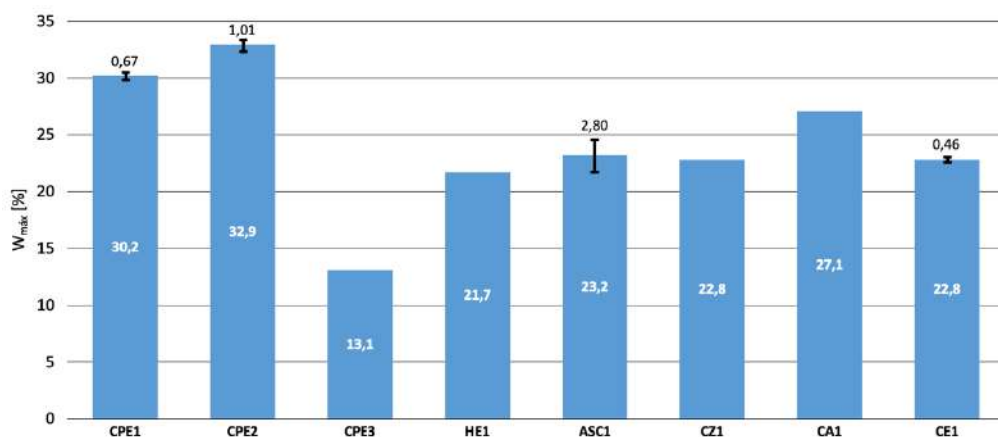


Figura 5.19 Valores do teor máximo em água das amostras estudadas.

O coeficiente de saturação permite relacionar os valores do teor máxima em água e do teor em água após 48 horas de imersão em água e, deste modo, analisar a maior ou menor facilidade dos materiais atingirem a saturação, figura 5.20.

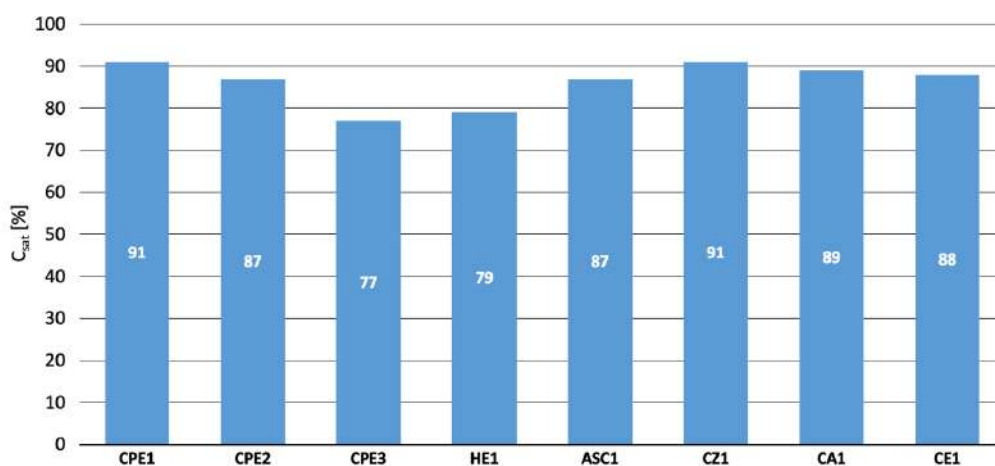


Figura 5.20 Valores do coeficiente de saturação C_{sat} .

A generalidade das argamassas revelaram valores elevados de coeficiente de saturação, compreendidos entre 77% e 91%. CPE3 foi a argamassa que revelou menor coeficiente de saturação (77%), distinguindo-se das restantes. HE1 revelou um valor igualmente baixo de coeficiente de saturação, comprovando a situação relatada anteriormente na análise relativa ao $W_{\text{máx}}$. CPE3 demonstrou uma compacidade elevada e menos porosa, enquanto que HE1 poderá ter uma estrutura porosa com poros mais pequenos e, conseqüentemente, demoram mais tempo a absorver água.

CZ1 e CPE1 revelaram o mesmo coeficiente de saturação (91%), apesar de apresentarem uma porosidade distinta – valor de 37% para CZ1 e 44% para CPE1.

- **Coefficiente de Absorção por Capilaridade (face interior – argamassa)**

A durabilidade das argamassas antigas relaciona-se fortemente com o comportamento das mesmas em contacto com água.

Os resultados apresentados foram compilados em dois grupos de quatro amostras de argamassa, para facilitar a análise das curvas de absorção de água com maior detalhe. Deste modo, no primeiro grupo fazem parte as amostras HE1, ASC1.A, CPE2 e CPE3. No segundo grupo, perfazem as amostras de CZ1, CA1 e CE1, com dois fragmentos distintos.

Relativamente à amostra CPE1, foi analisada de forma individual por apresentar diversos fragmentos, tendo sido analisados um grupo de quatro fragmentos de argamassa.

A figura 5.21 apresenta as curvas de absorção de água por capilaridade, em função da raiz quadrada do tempo, de quatro amostras – HE1, ASC1.A, CPE2 e CPE3.

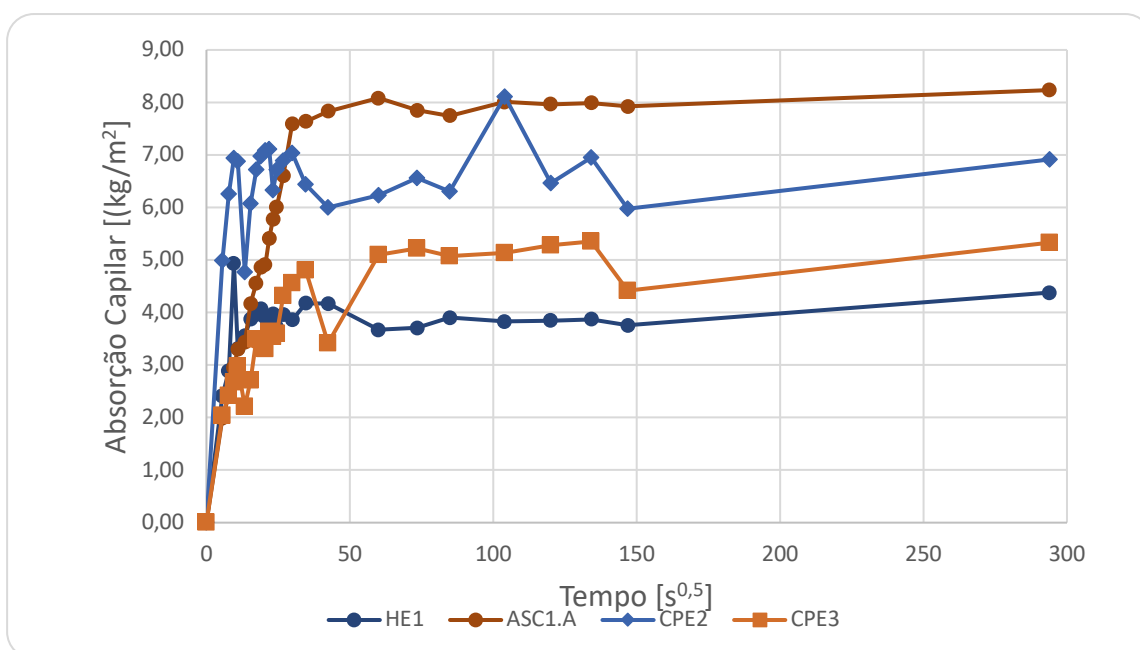


Figura 5.21 Curvas de absorção de água por capilaridade em função da raiz do tempo.

Na figura 5.22 são apresentados os valores do coeficiente de capilaridade das argamassas mencionadas anteriormente.

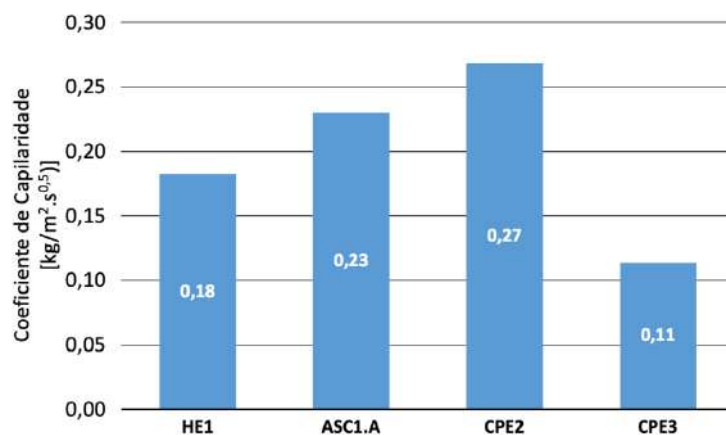


Figura 5.22 Valores do coeficiente de capilaridade das amostras HE1, ASC1.A, CPE2 e CPE3.

HE1 e ASC1.A apresentam valores de porosidade da ordem de 36% e 37% e coeficientes de capilaridade de $0,18 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ e $0,23 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, respetivamente. A maior capacidade de absorção de ASC1.A face a HE1 foi também identificada através da avaliação do seu coeficiente de saturação, tendo-se obtido para ASC1.A e HE1 valores de um C_{sat} de 87% e 79%, respetivamente.

CPE2 – com valor de coeficiente de $0,27 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ – não revelou um coeficiente de absorção de água por capilaridade muito elevado, como seria expectável tendo em atenção a sua elevada porosidade – valor de 46%.

A amostra CPE3 apresentou o valor de coeficiente mais baixo – valor de $0,11 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ – corroborando a sua menor capacidade de absorção de água em linha com os valores porosidade e coeficiente de saturação mais baixos das amostras – porosidade de 26% e C_{sat} de 77%. No entanto, apresenta valores pouco expectáveis para uma argamassa antiga pois os valores obtidos são inferiores aos preconizados no capítulo 3. Assim sendo, pode-se concluir que a argamassa CPE3 tem comportamento que não se insere na generalidade dos resultados obtidos, sendo provável que seja uma argamassa de reparação e, assim sendo, mais recente e formulada com os pressupostos actuais.

De seguida, na figura 5.23, apresenta-se as curvas de absorção de água por capilaridade, em função da raiz quadrada do tempo, relativas às amostras CZ1, CA1 e CE1.

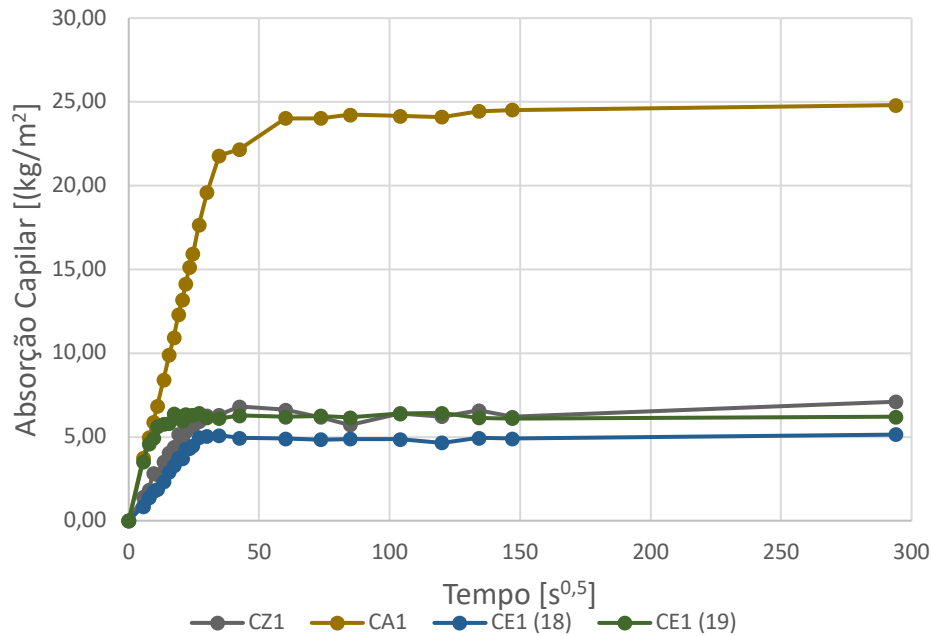


Figura 5.23 Curvas de absorção de água por capilaridade em função da raiz quadrada do tempo.

Na figura 5.24 são apresentados os valores do coeficiente de capilaridade das amostras mencionadas anteriormente.

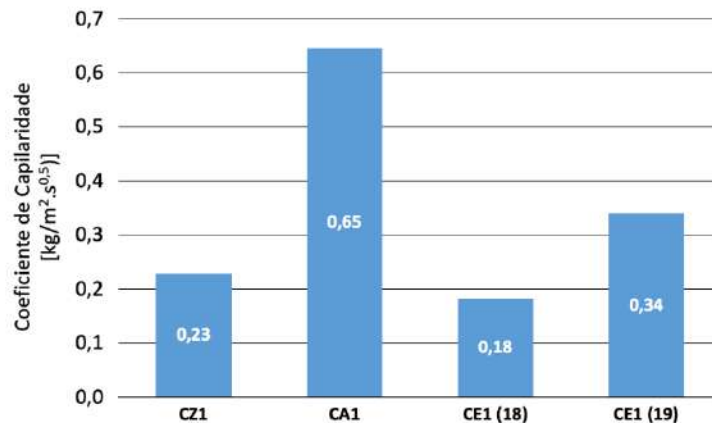


Figura 5.24 Valores do coeficiente de capilaridade das amostras CZ1, CA1 e CE1.

A amostra CZ1 apresentou o mesmo coeficiente de capilaridade – valor de 0,23 kg/(m².s^{0,5}) – que a amostra ASC1.A e a porosidade é igualmente de 37% para ambas. No entanto, o que as distingue é o coeficiente de saturação ser superior na amostra CZ1 – valor de 91% – o que incrementa as suas características intrínsecas de absorção de água.

CA1 aparenta ser a argamassa com maior capacidade de absorção de água – com um valor de porosidade de 41% apresentou um coeficiente de 0,65 kg/(m².s^{0,5}). Complementando a análise com o coeficiente de saturação – valor de 89% – é interessante denotar que estamos perante uma amostra com características propícias para absorção de água, apresentando um espaço poroso elevado.

Por fim, realçando a amostra CE1, que foi analisada com dois fragmentos distintos, e para o mesmo valor de porosidade, foram obtidos dois valores distintos de coeficiente de absorção – com valor de 0,18 para a amostra CE1(18) $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ e com valor de 0,34 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ para CE1 (19).

De seguida, e atendendo ao facto da amostra CPE1 ter sido recolhida com diversos fragmentos, a análise desta será dividida em duas partes – inicialmente será feita a descrição dos resultados apenas da argamassa e, posteriormente, comparar com resultados referentes à face que estava em contacto com o exterior que apresentava revestimento na sua constituição. O objectivo foi averiguar em que medida a presença de revestimento decorativo afecta o comportamento da argamassa de reboco. Na figura 5.25, apresentam-se as curvas de absorção de água por capilaridade, em função da raiz quadrada do tempo, de CPE1 relativamente à argamassa.

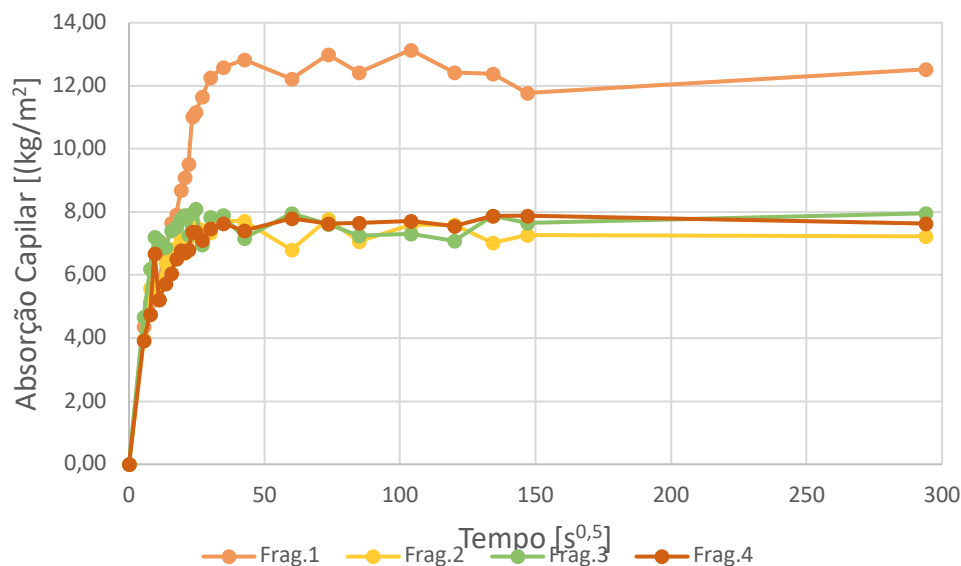


Figura 5.25 Curvas de absorção de água por capilaridade em função da raiz quadrada do tempo de 4 fragmentos de argamassa da amostra CPE1.

Na figura 5.26 são apresentados os resultados do coeficiente de capilaridade dos fragmentos de CPE1.

A partir do gráfico da figura 5.25, é notório que o fragmento 1 apresenta uma curva de absorção distinta das outras três. Esta variação deve-se à dimensão do fragmento, e respectiva área de influência para absorção de água. Os restantes 3 fragmentos analisados apresentavam dimensões semelhantes.

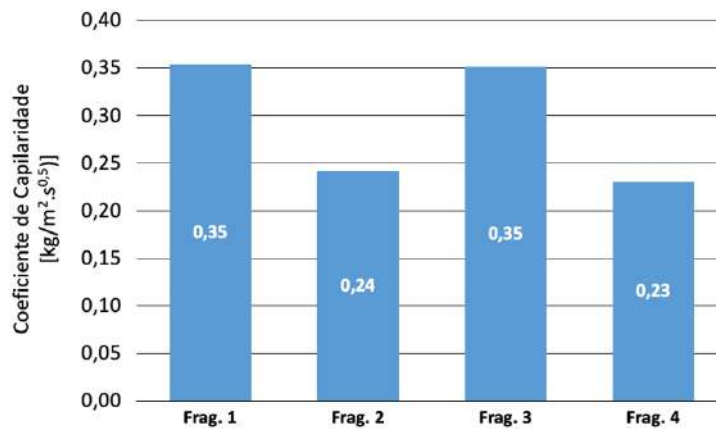


Figura 5.26 Valores de coeficiente de capilaridade de 4 fragmentos de argamassa da amostra CPE1.

Analisando os resultados do gráfico da figura 5.26, pode-se concluir de imediato que há uma similaridade notória nos valores de coeficiente dos fragmentos 1 e 3 e dos fragmentos 2 e 4.

Coeficiente de Absorção por Capilaridade (face exterior revestida – amostra CPE1)

De seguida, na figura 5.27, apresentam-se as curvas de absorção de água por capilaridade, em função da raiz do tempo, relativamente à face exterior revestida dos fragmentos da amostra CPE1.

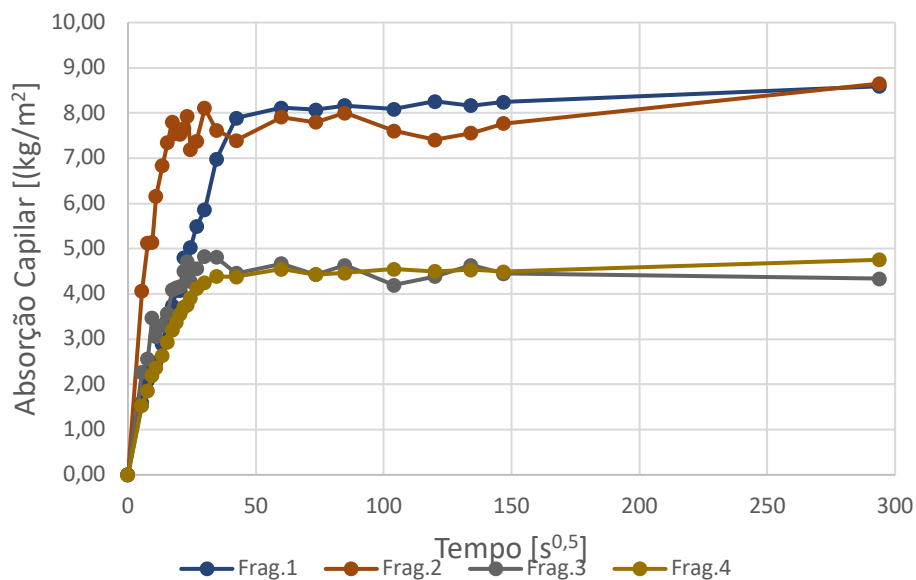


Figura 5.27 Curvas de absorção de água por capilaridade em função da raiz quadrada do tempo dos fragmentos com revestimento.

Na figura 5.28 são apresentados os resultados do coeficiente de capilaridade dos fragmentos de CPE1, referentes ao revestimento.

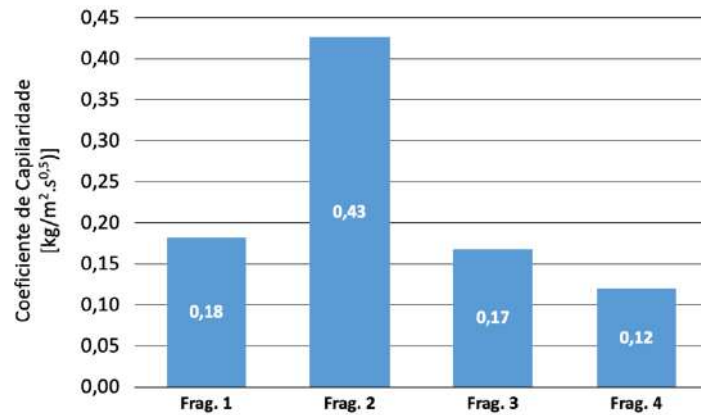


Figura 5.28 Valores de coeficiente de capilaridade de 4 fragmentos com revestimento da amostra CPE1.

Ao visualizar os valores de coeficiente dos quatro fragmentos com revestimento, denota-se uma redução substancial dos resultados comparativamente aos fragmentos de argamassa analisados, exceptuando o fragmento 2. O fragmento 2 apresentou um comportamento pouco expectável por exibir um valor de coeficiente de absorção muito elevado – valor de 0,43 kg/(m².s^{0,5}). Numa primeira instância, é exequível concluir que o revestimento poderá ter contribuído para melhorar o comportamento da amostra CPE1 em contacto com água. De facto, na maioria dos fragmentos, os valores obtidos são expectáveis para amostras com revestimento na sua constituição, pois apresentam redução no coeficiente relativamente aos fragmentos de argamassa.

Para finalizar a análise, a figura 5.29 apresenta um gráfico com a relação entre a porosidade e o coeficiente de absorção de água.

Como analisado anteriormente, é perfeitamente notório a discrepância das amostras CPE3 e CA1 relativamente às restantes. Noutro prisma, CPE3 apresentou-se como a amostra com melhor comportamento, apresentando valores que justificam propriedades de argamassa com formulação mais recente.

Poder-se-á encontrar dois padrões nas outras seis amostras. O primeiro padrão é representado pelos resultados de HE1, CZ1, ASC1 e CE1, revelando características globalmente similares. Os valores de porosidade e absorção por capilaridade são da mesma ordem de grandeza e este grupo revela valores de porosidade baixos para o tempo de execução das argamassas.

Por fim, o segundo padrão é constituído pelo par de amostras CPE: CPE 1 e CPE 2. Apresentando valores de absorção similares ao grupo anterior, a porosidade é mais elevada.

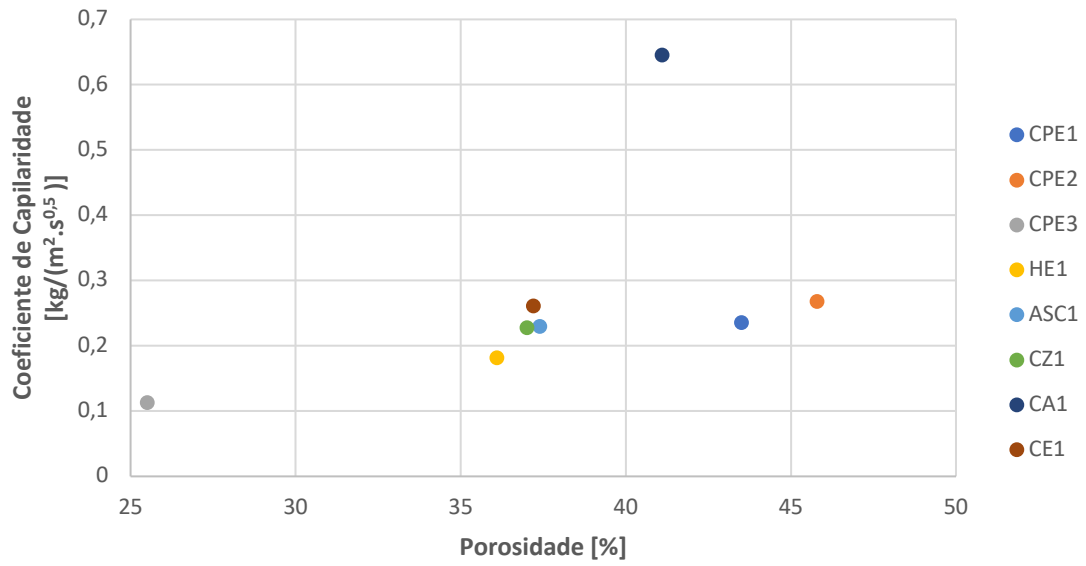


Figura 5.29 Relação entre a porosidade e o coeficiente de absorção de todas as amostras.

5.5 Caracterização colorimétrica

- **Argamassas**

A caracterização colorimétrica foi executada após a limpeza das amostras no laboratório DECivil. A tabela 5-6 apresenta o valor médio e o desvio-padrão das coordenadas **L***, **a***, **b*** e de croma **C***.

Tabela 5-6 Caracterização colorimétrica.

Amostra	L*		a*		b*		C*	
	V. Médio	σ	V. Médio	σ	V. Médio	σ	V. Médio	σ
CPE1	62,87	4,04	5,31	0,81	17,99	0,93	18,77	1,04
CPE2	65,60	0,83	4,19	0,15	21,00	0,12	21,41	0,15
CPE3	64,63	2,79	2,14	0,34	13,39	0,68	13,57	0,62
HE1	68,97	1,65	4,54	0,52	15,93	1,83	16,59	1,63
ASC1.A	76,41	2,54	4,93	0,35	16,43	0,37	17,16	0,28
CZ1	73,14	0,23	3,15	1,92	12,64	0,48	13,17	0,01
CA1	60,82	5,07	4,04	1,19	15,53	1,31	16,09	1,40
CE1	63,71	1,75	4,57	1,03	16,96	1,03	17,58	1,16

Os dados da tabela 5-6 demonstram que as amostras apresentam pouca variabilidade ao nível da cor. Na generalidade da amostragem, o parâmetro **L*** revela luminosidade elevada. A coordenada **a*** apresenta valores baixos, o que na escala do CIELAB indica proximidade à tonalidade encarnada. A coordenada **b*** tem um valor mais elevado que o anterior, situando-se na tonalidade amarela da escala do CIELAB.

Sendo assim, as coordenadas **a*** e **b*** colocam a tonalidade das amostras no espaço de cor variável, e expectável, entre encarnado e amarelo.

A figura 5.30 apresenta a representação gráfica das coordenadas **a*** e **b*** e a figura 5.31 apresenta a representação gráfica das coordenadas **L*** e de croma (**C***).

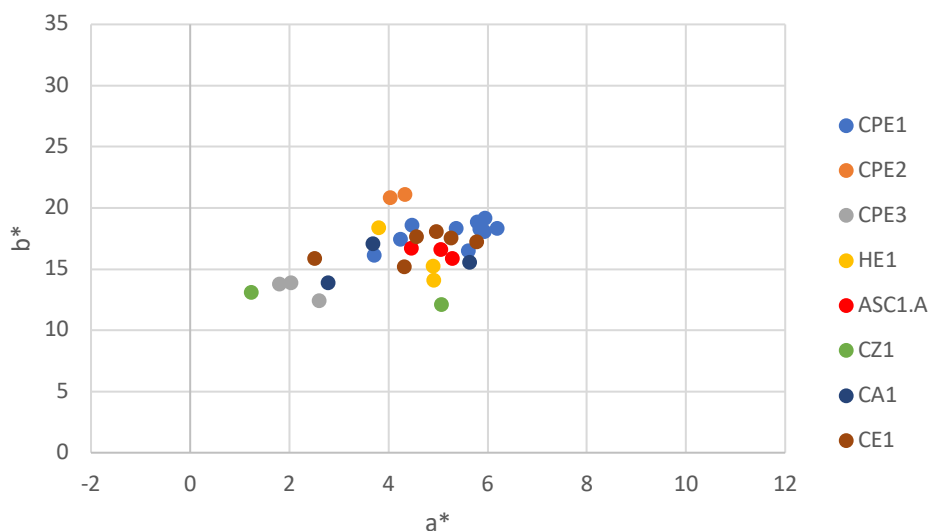


Figura 5.30 Gráfico com as coordenadas a^* e b^* das argamassas.

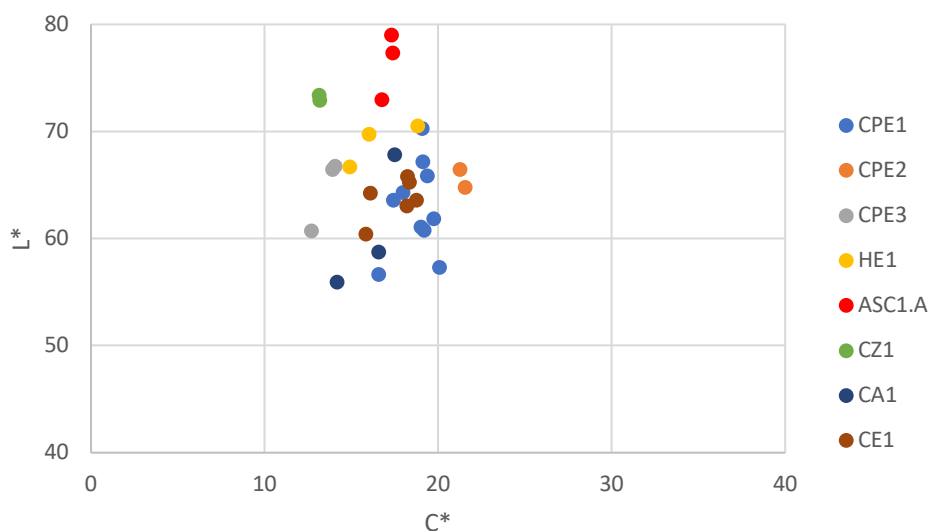


Figura 5.31 Gráfico com as coordenadas C^* e L^* das argamassas.

A análise da figura 5.30 permite verificar que todas amostras, exceto CPE2, obtiveram uma medição do parâmetro b^* com um intervalo de valores entre 10 e 20. Esta constatação remete, novamente, para uma gama de cor muito idêntica no panorama geral das amostras, entre a tonalidade cinzento/bege. Relativamente ao parâmetro a^* , a amostra CPE3 distingue-se por ser a única que apresenta valores inferiores a 3 enquanto que as restantes se inserem no intervalo de valores entre 4 e 6. Assim sendo, a amostra CPE3 encontra-se no espaço de cor da gama dos cinzentos, enquanto que as restantes aproximam-se da tonalidade bege.

Analisando a figura 5.31, pode constatar-se que a maior concentração de pontos do eixo de abcissas se situa entre o valor de 15 e 20 enquanto que no eixo das ordenadas situa-se entre os valores 55 e

70. As amostras com valor de parâmetro L^* superior a 70 são a CZ1 e ASC1, remetendo a tonalidade para os tons claros associado ao aumento da luminosidade captada pelo sensor. A amostra CPE2 tem a particularidade de ter valores do parâmetro C^* superiores a 20, o que conjugado com a luminosidade de sensivelmente 65 remete para uma tonalidade mais acastanhada, pois entramos no espectro dos amarelos e laranjas. Por fim, a amostra que continua a destacar-se das restantes é a CPE3, cuja conjugação de parâmetros de luminosidade e croma continuam a remeter para tonalidades do cinzento. Em resumo, com o auxílio da figura 5.32, é possível concluir que a generalidade das amostras apresenta tonalidades entre o bege/cinzento. Nas amostras cujo parâmetro C^* é superior a 20, a tonalidade situa-se no amarelo/castanho. Entre o intervalo de valores de 15 e 20 estamos na gama do bege e, por fim, valores inferiores a 15 as amostras aproximam-se dos tons de cinzento.

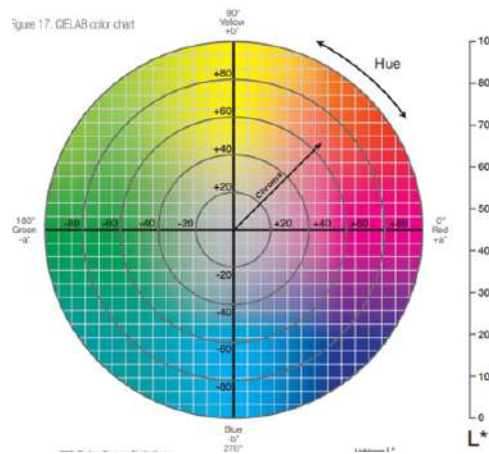


Figura 5.32 Referencial do espaço da cor, com luminosidade no eixo zz. Adaptado de (Mouw, 2018).

De seguida, os resultados obtidos serão analisados por grupos de amostras. As três amostras retiradas da Capela da Paixão estão contempladas no gráfico da figura 5.33.

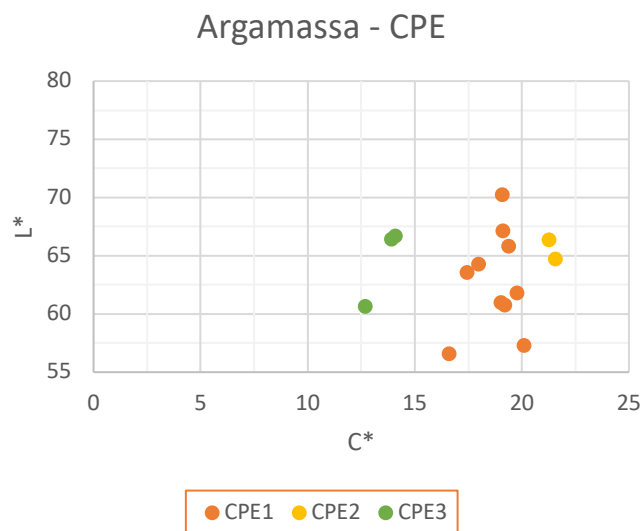


Figura 5.33 Gráfico com as coordenadas C^* e L^* das amostras CPE1, CPE2 e CPE3.

Pela análise do gráfico, as argamassas situam-se em intervalos distintos ao nível do parâmetro croma. Apesar da localização próxima de extração dos exemplares, os resultados obtidos inserem CPE1 e CPE2 num grupo à parte de CPE3. As características inerentes a CPE3 são notoriamente distintas do espectro amostral, cujos valores baixos de C^* , conjugado com luminosidade relativamente baixa, remete para os tons de cinzento. Os valores de CPE1 e CPE2 são muito similares, balizando as coordenadas onde a concentração de pontos do gráfico é mais elevada, pode-se considerar C^* perto de 20 e L^* de sensivelmente 65. Assim sendo, o espaço cor encontra-se na tonalidade bege a aproximar-se dos amarelos devido ao valor de luminosidade. Na figura 5.34, pode-se observar as fotografias das amostras referidas.



Figura 5.34 Fotografias das amostras CPE1 (a), CPE2 (b) e CPE3 (c).

Relativamente às amostras referentes ao Herbolário e à Cozinha do Convento, os resultados obtidos no ensaio estão contemplados no gráfico da figura 5.35.

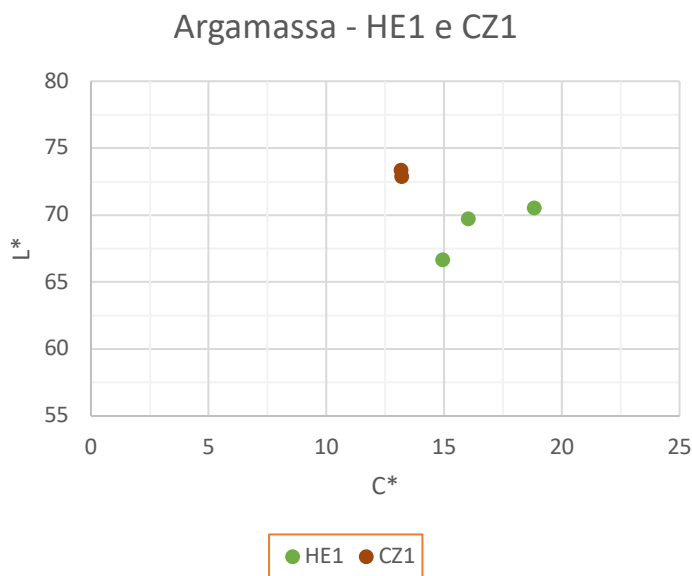


Figura 5.35 Gráfico com as coordenadas C^* e L^* das amostras HE1 e CZ1.

As duas amostras encontram-se em intervalos distintos do parâmetro C^* , conferindo a CZ1 uma tonalidade mais próxima dos cinzentos por se encontrar mais perto do eixo do referencial, enquanto que HE1 encontra-se mais próxima dos valores de bege/amarelo.

Relativamente à Cozinha, considera-se relevante denotar que a argamassa apresentou valores elevados de luminosidade, superiores a 70, conferindo uma tonalidade mais clara. O barramento apresenta uma tonalidade mais cinza. Na figura 5.36, pode-se observar as fotografias das amostras referidas.



Figura 5.36 Fotografias das amostras HE1 (a) e CZ1 (b).

De seguida, a análise das amostras da Casa das Águas e de uma das Celas do Convento resultou no gráfico da figura 5.37.

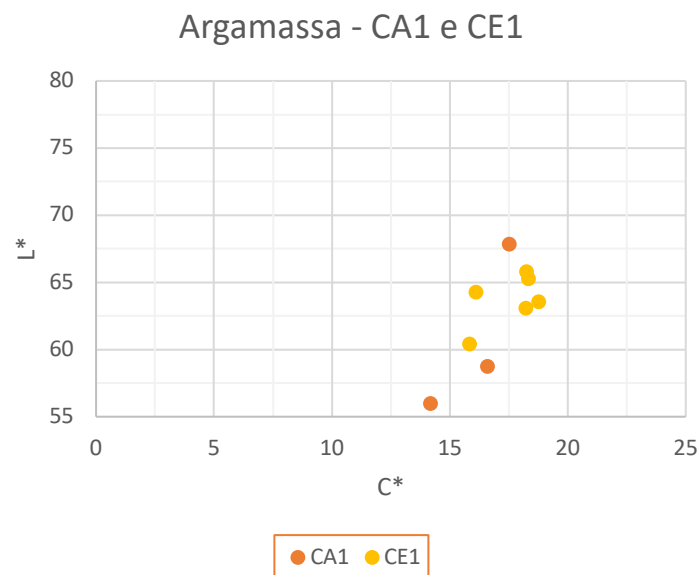


Figura 5.37 Gráfico com as coordenadas C^* e L^* das amostras CA1 e CE1.

As amostras CA1 e CE1 são muito similares, apresentando valores idênticos a nível de croma, variando a componente de luminosidade. Durante a recolha, como explicado no capítulo 4, ambas apresentavam teor de humidade elevado, e até elementos em madeira humedecida e em decomposição no caso de

CE1. Esta teor de humidade poderá ter contribuído para a tonalidade mais escurecida das amostras, apresentado valores do parâmetro L^* notoriamente reduzidos face às restantes amostras.

Assim sendo, os resultados obtidos remetem estas argamassas para tonalidades mais acastanhadas, pois conjugam valores de coordenadas com tonalidades próximas do bege mas com o parâmetro de luminosidade a remeter para o espectro do laranja. Na figura 5.38, pode-se observar as fotografias das amostras referidas.

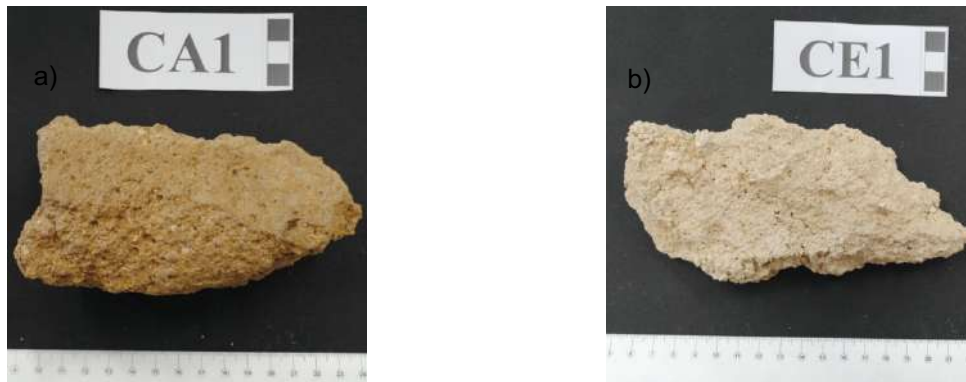


Figura 5.38 Fotografias das amostras CA1 (a) e CE1 (b).

Por último, as análises das amostras da Sala do Capítulo resultaram no gráfico da figura 5.39.

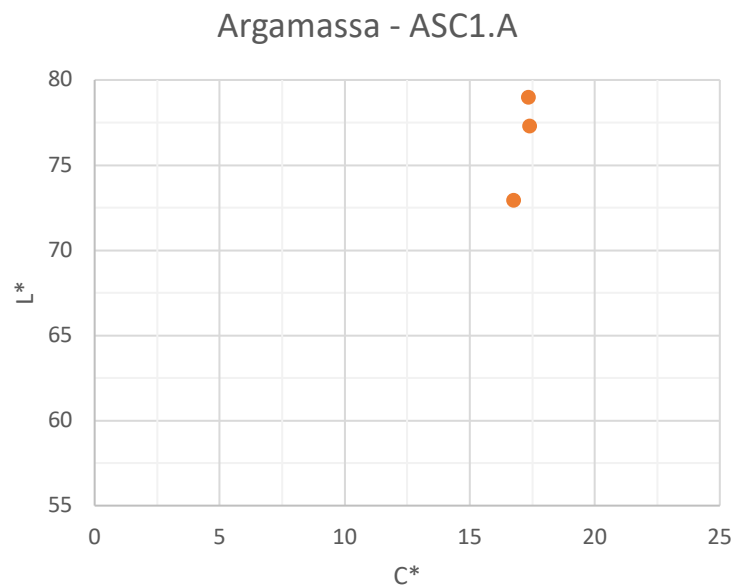


Figura 5.39 Gráfico com as coordenadas C^* e L^* da amostra ASC1.A.

A amostra ASC1.A tem a particularidade de ter o valor mais elevado do parâmetro de luminosidade, relativamente à totalidade das amostras. Analisando o intervalo de valores de C^* entre 15 e 20, a tonalidade encontra-se na gama do bege. No entanto, com a luminosidade superior a 70, o espaço da cor insere-se na gama dos castanhos mas com tonalidades mais acentuadas que as duas amostras anteriores. Assim sendo, pode-se considerar que a argamassa de ASC1.A foi a que possuía a tonalidade mais próxima de tons de barro, como se pode observar na figura 5.40.



Figura 5.40 Fotografia da amostra ASC1.

- **Barramentos/Caições**

No subcapítulo anterior, analisou-se a cor das amostras tendo em consideração apenas a argamassa das amostras, ou seja, apenas a face que se encontrava no interior dos elementos. De seguida, apresentam-se os resultados obtidos da análise relativa à face que esteve em contacto com o exterior.

A tabela 5-7 apresenta o valor médio e desvio-padrão das coordenadas L^* , a^* , b^* e C^* dos revestimentos obtidas na face exterior, da totalidade das amostras.

Tabela 5-7 Revestimentos decorativos – caracterização colorimétrica.

Amostra	L^*		a^*		b^*		C^*	
	V. Médio	σ	V. Médio	σ	V. Médio	σ	V. Médio	σ
CPE1	64,98	1,72	3,03	0,75	16,37	1,54	16,67	1,51
CZ1	51,20	0,00	-0,49	0,00	10,36	0,00	10,37	0,00
CE1	76,68	1,93	3,40	0,53	12,59	1,16	13,05	1,20

Os dados da tabela 5-7 demonstram que os parâmetros apresentaram um ligeiro decréscimo nos valores obtidos na análise anterior. O parâmetro L^* , com valor médio de 64, demonstra uma luminosidade reduzida em 3 valores relativamente à face interior da argamassa. Os restantes parâmetros apresentaram reduções médias de 2 valores para a coordenada a^* e 3 valores para a coordenada b^* . A variação destas coordenadas CIELAB, encaminha para um espaço de cor mais próximo da origem do referencial. O parâmetro a^* , relativo à amostra CZ1, foi o único valor negativo obtido, localizando o espaço de cor da amostra numa escala entre o verde e o amarelo.

O gráfico da figura 5.41 apresenta os valores dos parâmetros de luminosidade e croma, das três amostras com revestimento.

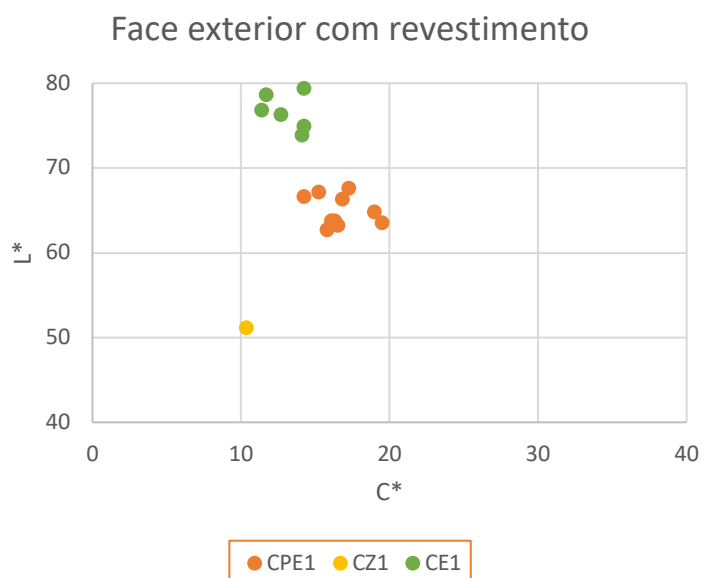


Figura 5.41 Gráfico com as coordenadas C^ e L^* das amostras CPE1, CZ1 e CE1.*

As amostras CPE1 e CZ1 foram extraídas com um barramento na sua constituição, enquanto a amostra CE1 apresentava uma caiação envelhecida. Relativamente à coloração, como se pode observar na figura 5.39, a amostra CZ1 destoa das restantes por apresentar valores baixos em ambos os parâmetros. Estes resultados encaminham o espaço cor para uma gama de cinzento escuro, valor do parâmetro C^* próximo de 10 e parâmetro L^* com valor próximo de 50 - condizentes com a tonalidade real do revestimento existente na amostra.

A amostra de CPE1 acaba por ter um comportamento idêntico às amostras cuja face exterior não apresentavam acabamento, que serão pormenorizadas seguidamente (figura 5.42). As gamas de valores de luminosidade são superiores a CZ1, entre 15 a 20 valores, assim como o valor da croma aumentou 10 valores. Assim sendo, a tonalidade real assemelha-se ao bege.

Por fim, CE1 apresentou valores médios do parâmetro C^* próximos de CZ1 mas com valores de luminosidade mais elevado das amostras, conferindo uma coloração de bege claro. Na figura 5.42, pode-se observar as fotografias das amostras referidas com o revestimento respectivo.

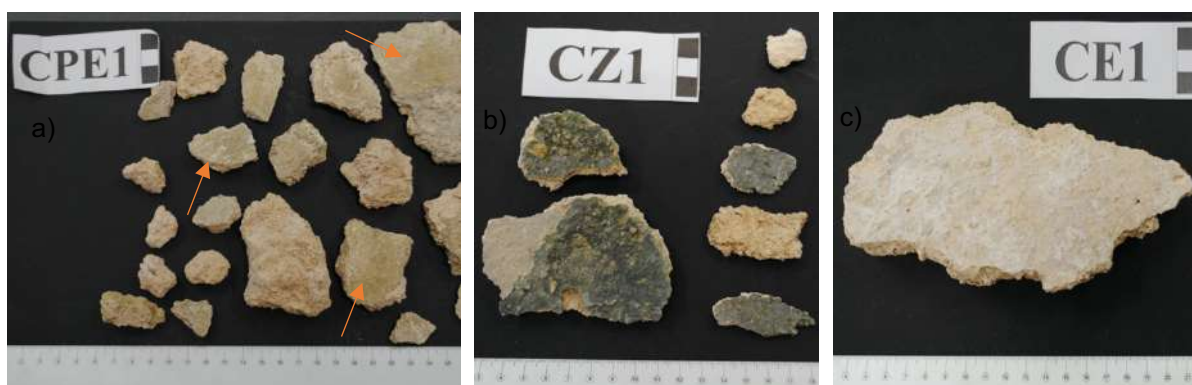


Figura 5.42 Fotografias das amostras CPE1 (a), CZ1 (b) e CE1 (c).

6 Conclusões e proposta para desenvolvimentos futuros

6.1 Conclusões gerais

O Convento dos Capuchos foi construído em 1560, albergando uma ordem Franciscana. Com a extinção das ordens religiosas, em 1834, o edificado passou por diversos proprietários até pertencer à tutela do Estado Português em 1949. Com os sucessivos proprietários, as informações referentes a intervenções são muito escassas, havendo apenas alguns registos pontuais a partir do momento que o Convento foi tutelado pelo Estado, ao cuidado do PSML.

O presente estudo centrou-se na análise de amostras de argamassas recolhidas *in situ*, sujeitas a uma metodologia de trabalho com o objectivo de aferir as suas características físicas, comportamento em contacto com água, composição, granulometria dos agregados e estimar o traço aproximado com recurso à relação solúvel/insolúvel das amostras. As amostras analisadas nesta dissertação foram recolhidas em 9 locais do Convento dos Capuchos, situados ao longo dos seus 3 níveis.

Em laboratório, iniciou-se a preparação das amostras recolhidas com registo fotográfico antes e depois de uma limpeza ajustada caso a caso. Nesta fase foi relevante avaliar de forma macroscópica características inerentes a cada amostra, relativamente a morfologia, coesão, vazios, presença de nódulos de cal entre outras. Utilizou-se esta primeira fase para criar uma escala de parâmetros físicos calibrada para as amostras recolhidas.

Relativamente às características do agregado utilizado na formulação das argamassas, era expectável a utilização de rochas graníticas típicas da região onde se enquadra o edificado do Convento. Após a dissolução com ácido, a avaliação macroscópica da fração insolúvel, foi possível observar características similares ao granito existente na Serra de Sintra.

As amostras HE1, CZ1, CE1 e ASC1.A revelaram valores de porosidade e de coeficientes de absorção de capilaridade similares, indicando a hipótese de terem sido executadas na mesma altura.

As amostras CPE1 e CPE2 apresentaram valores de absorção similares ao grupo anterior, no entanto com porosidade mais elevada.

As amostras CA1 e CPE3 foram as que se destacaram das restantes, relativamente ao comportamento em contacto com água. Denotar que CPE3 apresentou-se como a amostra com melhor comportamento, apresentando valores completamente diferentes dos apresentados pelas restantes e cujas propriedades indiciam ter sido uma argamassa de reparação, formulada mais recentemente.

Relativamente à composição das argamassas, os resultados encontram-se em linha com outras argamassas históricas já estudadas em Portugal. Os valores de traço obtidos, por analogia com parte solúvel e insolúvel previamente descrita nesta dissertação, remete para uma gama de valores entre 1:2 a 1:4. Como excepção a estes valores, insere-se a amostra CPE3 cujos resultados refletiram num traço de 1:6,2, novamente distintos das restantes.

Por fim, na conjugação dos três parâmetros que compõem as coordenadas CIELAB, a gama de cor que as amostras possuem são representadas pelas amostras CPE1, CZ1 e CE1: tonalidade entre

castanho, bege e o cinzento. A amostra CZ1 denota uma tonalidade completamente díspar das restantes, sendo a mais escura dos exemplares.

6.2 Proposta para desenvolvimentos futuros

A realização desta dissertação conjugada com as condicionantes inerentes à obtenção de informação relativa ao Convento dos Capuchos, permitiu identificar algumas propostas para desenvolvimentos futuros. A procura de informação, histórica e cultural, assim como utilização de outras metodologias experimentais seriam uma mais-valia para complementar os resultados obtidos. Desta forma, sumariamente apresenta-se as seguintes propostas:

- Pesquisa pormenorizada de informação relativa à construção do Convento dos Capuchos que porventura exista na Torre do Tombo assim como nos Arquivos da Direção Geral do Património Cultural;
- Complementar os resultados de caracterização obtidos com recurso a ensaios de caracterização mecânica;
- Complementar os resultados obtidos, ao nível da composição das argamassas, com recurso a ensaios de análise química analítica (e.g. difração de Raio-X);
- Alargar o estudo desenvolvido no âmbito da presente dissertação com outros em desenvolvimento, com o objetivo de conjugar os resultados de caracterização das argamassas do Convento dos Capuchos;

Referências bibliográficas

- 25-PEM - Protection et Érosion des Monuments, C. (1980a). *RILEM Test No. I.1 – Porosity accessible to water – Recommendations provisoires. Essais recommandés pour mesurer l'altération des pierres et évaluer l'efficacité des methods de traitement.*
- 25-PEM - Protection et Érosion des Monuments, C. (1980b). *RILEM Test No. I.2 – Bulk Densities and Real Densities – Recommendations provisoires. Essais recommandés pour mesurer l'altération des pierres et évaluer l'efficacité des methods de traitement.*
- 25-PEM - Protection et Érosion des Monuments, C. (1980c). *RILEM Test No. II.6 - Water Absorption Coefficient – Recommendations provisoires. Essais recommandés pour mesurer l'altération des pierres et évaluer l'efficacité des methods de traitement.*
- Abdala, M. (2018). Ciência e engenharia de materiais. In IST Press (Ed.), *Ciência e engenharia de materiais*. <https://doi.org/10.22533/at.ed.628183010>
- Aicher, P., Rowland, I. D., & Howe, T. N. (2001). Vitruvius: Ten Books on Architecture. In *The Classical World* (Vol. 94, Issue 3, p. 303). Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/4352580>
- Almeida, N. G., Faria, P., & Pinto, A. P. (2007). Argamassas com Base em Cal Aérea e Cinzas de Casca de Arroz para Conservação do Património Construído. *2.º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, d*. <https://run.unl.pt/bitstream/10362/11494/1/CN15-Arg.CCA APFAC 07.pdf>
- Almeida Santos, A. (2013). *Edifício da Central Tejo em Lisboa – Caraterização dos materiais e suas anomalias*. Instituto Superior Técnico.
- Antunes, A. D. C., & Coroado, J. (2013). Characterization of Lime Mortars From an 18th Century River Tagus Quay (Lisbon, Portugal). *International Journal of Conservation Science*, 4(1858), 515–524.
- Appleton, J. (2011). *Reabilitação de Edifícios Antigos - Patologias e Tecnologias de Intervenção (2º)*. Edições Orion.
- Câmara Municipal de Sintra. (2019). *Convento dos Capuchos encerrado para obras de requalificação*. Retrieved December 3, 2020, from <https://cm-sintra.pt/institucional/avisos/convento-dos-capuchos-encerrado-para-obras-de-requalificacao>
- CIE. (n.d.). *International Commission on Illumination - Commission internationale de l'éclairage*. Retrieved November 5, 2020, from <http://cie.co.at/>
- Damas, A. L., Faria, P., & Veiga, R. (2016). *Caraterização de argamassas antigas de Portugal - Contributo para a sua correta conservação*. https://run.unl.pt/bitstream/10362/19316/1/CI - Damas et al_caract arg antigas_review_67_021_patrima2016.pdf
- De Carvalho Antunes, A., Coroado, J., Santos Silva, A., & Veiga, R. (2016). *Estudo das argamassas do Cais das Colunas (Séc. XVIII), Lisboa, Portugal*. <https://www.researchgate.net/publication/303645828>

- Delazio, A., Israr, A., & Klatzky, R. L. (2017). Cross-modal correspondence between vibrations and colors. *2017 IEEE World Haptics Conference, WHC 2017*, 219–224. <https://doi.org/10.1109/WHC.2017.7989904>
- DGARQ - Direção-Geral de Arquivos. (2008). *Inventário de extinção do Convento de Santa Cruz de Sintra - Arquivo Nacional da Torre do Tombo - DigitArq*. Retrieved March 28, 2021, from <https://digitarq.arquivos.pt/details?id=4694713>
- DGPC. (2017). *Património Cultural - Atlas do Património Classificado e em Vias de Classificação*. Retrieved December 3, 2020, from <https://www.patrimoniogpc.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=7f7d5674280f41849c0a0869ced22d91¢er=-9.438116,38.784368,4326&level=19>
- DGPC. (n.d.-b). *Património Cultural - Convento dos Capuchos*. Retrieved March 28, 2021, from <http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/pesquisa-do-patrimonio/classificado-ou-em-vias-de-classificacao/geral/view/72838/>
- Ferreira Pinto, A. P., Sena da Fonseca, B., & Vaz Silva, D. (2020). The role of aggregate and binder content in the physical and mechanical properties of mortars from historical rubble stone masonry walls of the National Palace of Sintra. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121080>
- Gamito, A. M., & Soares, L. J. B. (1964). *Levantamento do Convento de Santa Cruz dos Capuchos - Sintra*. Retrieved September 23, 2020, from http://www.monumentos.gov.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=6410
- Garijo, L., Zhang, X. X., Ruiz, G., Ortega, J. J., Real, C., & Real, C. (2020). *The influence of dosage and production process on the physical and mechanical properties of air lime mortars. XLIV*(September), 9–12.
- Gaspar, N. M. (2005). *O convento dos Capuchos da Serra de Sintra: Percorso Histórico e Guia Interpretativo*. VoxGo.
- Gillot, C., & Coutelas, A. (2018). Cements, Mortars, Binders. *The Encyclopedia of Archaeological Sciences*, 1–5. <https://doi.org/10.1002/9781119188230.saseas0076>
- Gomes, A., Pinto, A. P., & Pinto, J. B. (2013). *Gesso e cal de construção*. 5–12. [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779580050974/Gesso e Cal_2013.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779580050974/Gesso%20e%20Cal_2013.pdf)
- Gonçalves, J., & Costa, P. (2003). *Intervenção Realizada - Direção-Geral do Património Cultural_Ministério da Cultura* -. Retrieved September 23, 2020, from http://www.monumentos.gov.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=6410
- Groot, C. (2005). *1. Characterisation of Old Mortars With Respect To Their Repair: a State of the Art*. 1(i), 1–10. <https://doi.org/10.1617/2912143675.001>
- Heritage, W. (1995). *World Heritage List - No 723 - The Serra and Town of Sintra*. 596, 53–59.
- Huaracha, Y. (2018). *Influência do agregado calcário em argamassas para rebocos de substituição de*

- edifícios antigos*. Instituto Superior Técnico.
- ICOMOS. (2003). ICOMOS (2003) - ICOMOS Charter. *Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*, 3–6. https://www.icomos.org/charters/structures_e.pdf
- Instituto Português da Qualidade. (2011). *NP EN 459-1 - Cal de construção - Definições, especificações e critérios de conformidade*. 1–50.
- Lei 107/2001 - DRE, Pub. L. No. 209/2001, Série I-A, Diário da República n.º 209/2001, Série I-A de 2001-09-08 5808 (2001). <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/629790/details/maximized>
- Lezzerini, M., Legnaioli, S., Lorenzetti, G., Palleschi, V., & Tamponi, M. (2014). Characterization of historical mortars from the bell tower of St. Nicholas church (Pisa, Italy). *Construction and Building Materials*, 69, 203–212. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.051>
- Margalha, M. G., Veiga, R., & Brito, J. de. (2007). Influência das areias na qualidade de argamassas de cal aérea. *2º Congresso Nacional de Argamassas De Construção, Lisboa, PORTUGAL*.
- Mendonça De Oliveira, M. (2008). *From Vitruvius' ceramic powder additives to modern restoration Dos aditivos de pó cerâmico de Vitruvius à restauração moderna*. http://revista.arp.org.pt/pdf/8_5.pdf
- Minolta, K. (2014). *Problems with CIE Lab (L*a*b* color space) - Part V - Precise Color Communication | KONICA MINOLTA*. Retrieved November 5, 2020, from <https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/part5/01.html>
- Mouw, T. (2018). *LAB Color Values*. X-Rite, Incorporated. Retrieved November 6, 2020, from <https://www.xrite.com/blog/lab-color-space>
- Neves, V. (2010). *O Convento dos Capuchos - O que é e o que foi* (V. M. L. P. Neves (ed.); 2º).
- Nogueira, R., Pinto, A. P., & Gomes, A. (2016). *Rebocos à base de cal: passado e presente Conhecimento empírico versus conhecimento científico*. 1.
- Parques de Sintra - Monte da Lua. (2020). *História do Convento dos Capuchos - Sintra*. Retrieved October 2, 2020, from <https://www.parquesdesintra.pt/pt/parques-monumentos/convento-dos-capuchos/historia/>
- Parques de Sintra - Monte da Lua. (2020). *Parque e Palácio de Monserrate | Parques de Sintra | Parques de Sintra - Monte da Lua*. Retrieved October 2, 2020, from <https://www.parquesdesintra.pt/pt/parques-monumentos/parque-e-palacio-de-monserrate/historia/>
- Pereira de Lima, (2005). *Património Cultural - Cerca do Convento da Arrábida*. Retrieved March 28, 2021, from http://www.monumentos.gov.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=23059
- Rosa, P. J. P. da. (2016). *Caracterização de argamassas históricas do Convento de Cristo - Tomar*. <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/25618?locale=en>
- Scannell, S., Lawrence, M., & Walker, P. (2014). Impact of aggregate type on air lime mortar properties.

- Energy Procedia*, 62(November 2015), 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.369>
- Sena da Fonseca, B., Ferreira Pinto, A. P., & Vaz Silva, D. (2020). Compositional and textural characterization of historical bedding mortars from rubble stone masonries: Contribution for the design of compatible repair mortars. *Construction and Building Materials*, 247. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118627>
- Serra de Sintra. (2009). *Quinta da Penha Verde em Sintra*. Retrieved March 28, 2021, from <https://serradesintra.net/quinta-da-penha-verde/>
- Silva, A. S. (2018). Cal dolomítica: o passado e o presente. *Ambiente Construído*, 18(4), 63–73. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000400293>
- Silva, A. S., Adriano, P., Magalhães, A., Pires, J., Carvalho, A., Cruz, A. J., Mirão, J., & Candeias, A. (2010). Characterization of historical mortars from Alentejo's religious buildings. *International Journal of Architectural Heritage*, 4(2), 138–154. <https://doi.org/10.1080/15583050903046322>
- UNESCO. (1995). *Cultural Landscape of Sintra - UNESCO World Heritage Centre*. Retrieved March 5, 2019, from <https://whc.unesco.org/en/list/723/>
- Veiga, R. (2006). *Os revestimentos antigos e a identidade dos edifícios. Arquitectura Ibérica. Reabilitação. N.12*. http://conservarcal.lnec.pt/pdfs/RV_Arqlber.pdf
- Veiga, R. (2009). Conservação e Reparação de Revestimentos De Paredes De Edifícios Antigos - Métodos e Materiais. In *Teses e Programas de Investigação, LNEC, Lisboa*. www.lnec.pt
- Veiga, R. (2017). Air lime mortars: What else do we need to know to apply them in conservation and rehabilitation interventions? A review. *Construction and Building Materials*, 157, 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.080>
- Veiga, R. (2018). Argamassas de cal para conservação e reabilitação de edifícios: conhecimento consolidado e necessidades de investigação. *Ambiente Construído*, 18(4), 85–96. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000400295>
- Veiga, R., Aguiar, J., Silva, A. S., & Carvalho, F. (2001). *Methodologies for characterisation and repair of mortars of ancient buildings*. 353–362. [http://www.hms.civil.uminho.pt/events/historica2001/page 353-362_28_.pdf](http://www.hms.civil.uminho.pt/events/historica2001/page%20353-362_28_.pdf)
- Veiga, R., Magalhães, A. C., & Bokan-Bosilikov, V. (2004). Capillarity Tests on Historic Mortar Samples Extracted From Site . Methodology and Compared Results. *13th International Brick and Block Masonry Conference*, 1–10. https://www.researchgate.net/publication/265572980_CAPILLARITY_TESTS_ON_HISTORIC_MORTAR_SAMPLES_EXTRACTED_FROM_SITE_METHODODOLOGY_AND_COMPARED_RESULTS
- Veiga, R., Stefanidou, M., Balksten, K., Alvarez, J. I., Nunes, C., Theodoridou, M., Faria, P., Papayianni, I., & Hees, R. Van. (2019). Durability of lime based renders: A review of some degradation mechanisms and assessment test methods. *SMS19 Rovinj*, 1, 1–8.

Anexos

Anexo A – Fichas de caracterização das amostras do Convento dos Capuchos

Local: Galilé	Convento dos Capuchos – Canto inferior esquerdo, degrau hospedaria 1
Referência da amostra:	GA1
Data de recolha:	16 de Maio 2019
Tipologia:	Reboco

Localização em planta

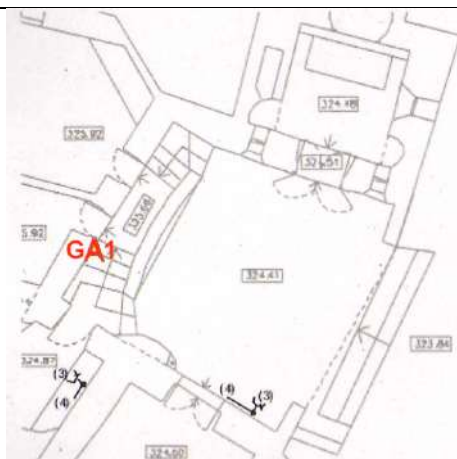


Foto geral do local de recolha

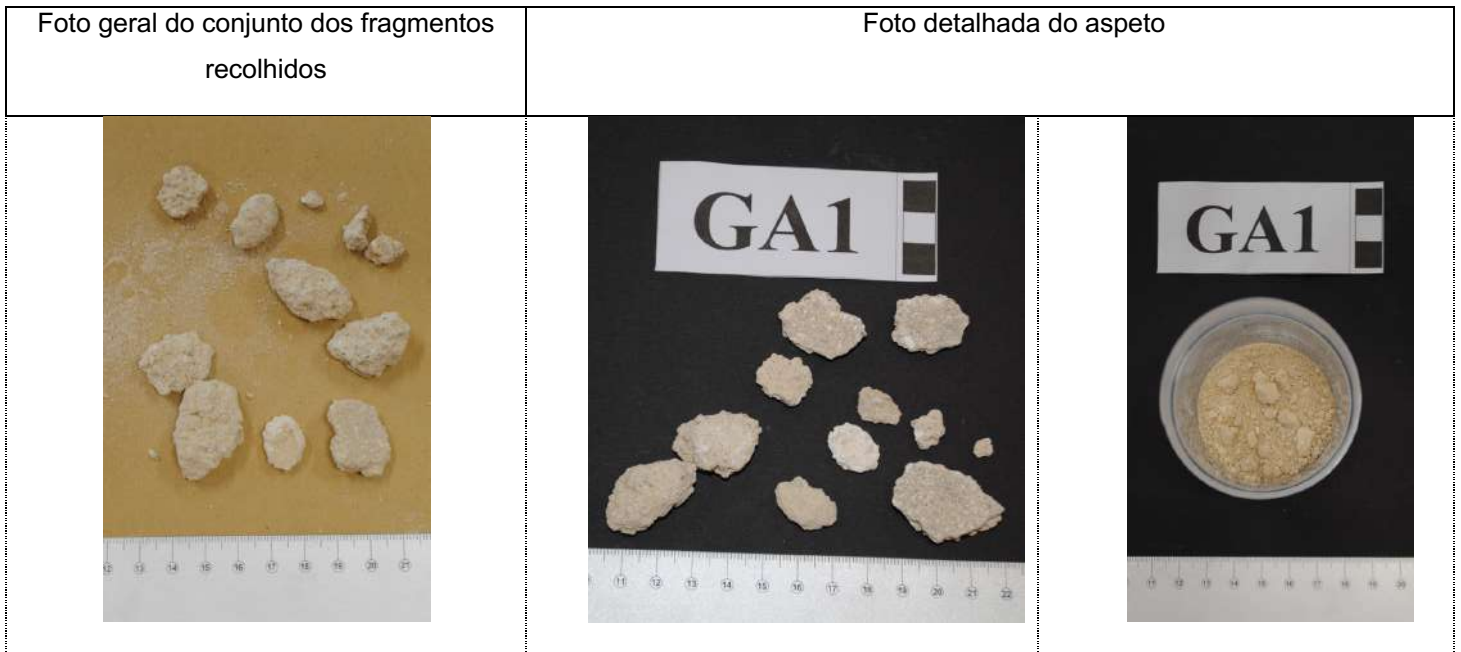


Foto detalhada da zona de recolha



Número de fragmentos:	11
Dimensão aprox. dos fragmentos:	Entre 5mm e 35mm
Massa dos fragmentos:	24,02g, Pó: 29,25g
Massa total dos fragmentos:	53,27g





Observações relevantes:	<p>2cm espessura; 1 nódulo de cal; decidiu-se parar a extração pois existia uma rocha a fazer de soleira da porta na zona escolhida para a extração;</p> <p>Amostra recolhida coesa e apresentava aderência;</p> <p>Na argamassa remanescente ficou visível um nódulo de cal com dimensão considerável</p>
-------------------------	--



Descrição: Amostra constituída por 2 fragmentos com 3,5cm, 3 fragmentos com 2 cm, 5 fragmentos menores de 2 cm e um nódulo de cal com 1,6cm. As espessuras estão compreendidas entre 0,5cm e 1cm. Nenhum fragmento apresentava biocolonização, material cerâmico ou camada de barramento. Os fragmentos eram coesos, no entanto quando manipulados com o pincel desintegravam-se. A cor é uniforme com tom bege, apresentando nódulos brancos de cal. A face exposta tem uma tonalidade mais acinzentada. A parte da amostra em pó apresenta alguns fragmentos de menor dimensão com cor uniforme igual aos fragmentos, bem como nódulos de cal.

Coesão	Boa		Homogeneidade	Homogénea	X	Biocolonização	Ausente	X	Coloração: Bege e acinzentada na face exterior
	Int.	X		Int.			Pouco Freq.		
	Baixa			Heterogénea			Frequente		
Nódulos de cal	Ausente		Gama de dimensão: 2 mm a 16mm	Presença de vazios	Ausente		Gama de dimensão: 1mm		
	Pouco Freq.				Pouco Freq.	X			
	Frequente	X			Frequente				

Agregado	Grossoiro		Gama de dimensão: <2mm	Material cerâmico	Ausente	X	Gama de dimensão:
	Int.				Pouco Freq.		
	Fino	X			Frequente		

Forma agregado		Angular		Natureza do agregado:
		Sub-angular		
		Sub-arredondado	X	
		Arredondado		

Local: Capela da Paixão	Convento dos Capuchos – Parede exterior lateral direita
Referência da amostra:	CPE1
Data de recolha:	16 de Maio de 2019
Tipologia:	Reboco

Localização em planta

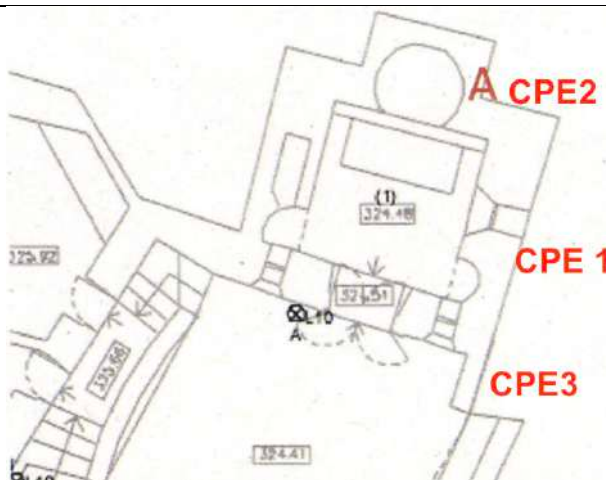
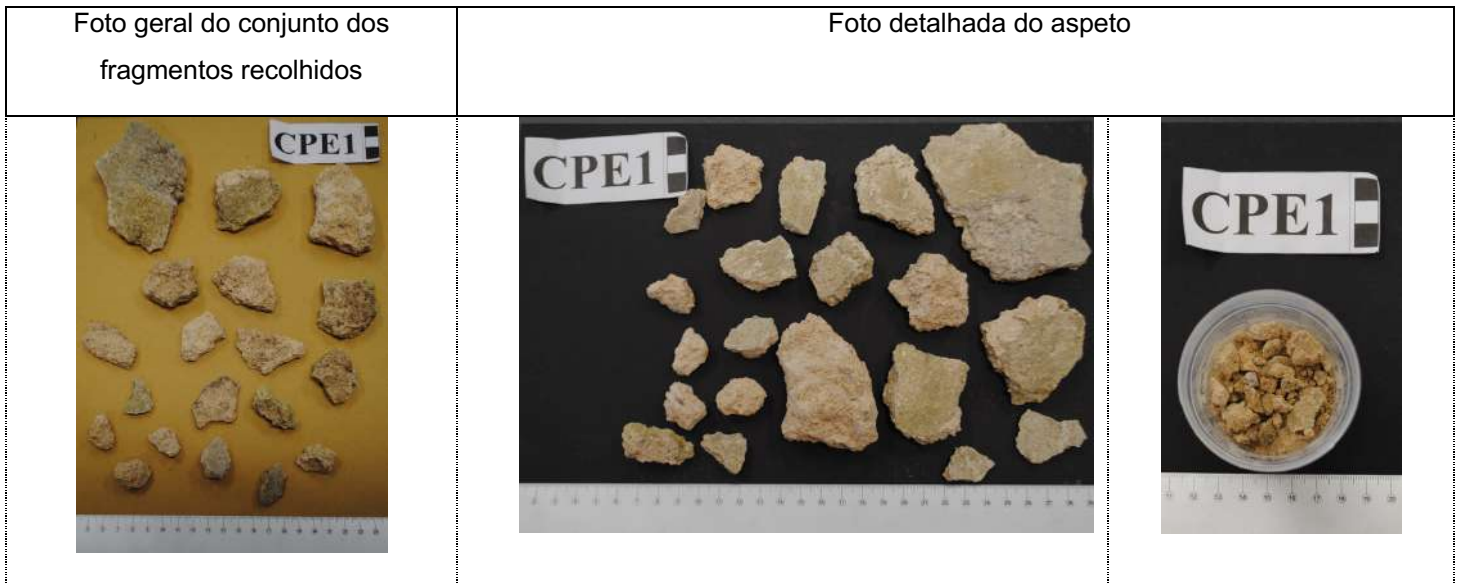


Foto geral do local de recolha	Foto detalhada da zona de recolha
--------------------------------	-----------------------------------



Número de fragmentos:	20
Dimensão aprox. dos fragmentos:	2cm a 10 cm
Massa dos fragmentos:	286,96g Pó: 40,41g
Massa total dos fragmentos:	327,37g. Após limpeza: 326,22g





Observações relevantes:	Amostra recolhida a uma altura de 50 cm do solo; Amostra com 2 cm de espessura.
-------------------------	---



Descrição:	<p>Amostra constituída por 1 fragmento com 10 cm de comprimento e 2 cm de espessura, 3 fragmentos com 5cm de comprimento e entre 1cm e 2cm de espessura, 6 fragmentos com 4cm de comprimento e 1cm de espessura e 10 fragmentos menores que 3cm de comprimento 0,5cm de espessura. A maior parte dos fragmentos apresentavam biocolonização e aparente camada de barramento mais escura com uma espessura de 2mm. Não apresentavam nenhum material cerâmico e os fragmentos eram coesos. A cor é uniforme com tom bege, apresentando nódulos brancos de cal. A face exposta tem uma tonalidade mais escurecida. A parte da amostra em pó apresenta alguns fragmentos de menor dimensão com cor uniforme igual aos fragmentos, bem como nódulos de cal.</p>
------------	--

Coesão	Boa	X	Homogeneidade	Homogénea	X	Biocolonização	Ausente		Coloração: Bege, sendo mais escurecida na face exterior.		
	Int.			Int.			Pouco Freq.				
	Baixa			Heterogénea			Frequente	X			
Nódulos de cal	Ausente		X	Gama de dimensão: <2mm		Presença de vazios	Ausente		Gama de dimensão: <2mm		
	Pouco Freq.						x	Pouco Freq.		x	
	Frequente							Frequente			

Agregado	Grosseiro		Gama de dimensão: <2mm	Material cerâmico	Ausente	X	Gama de dimensão:		
	Int.							Pouco Freq.	
	Fino	X						Frequente	

Forma agregado		Angular	
		Sub-angular	
		Sub-arredondado	X
		Arredondado	

Natureza do agregado:

Local: Capela da Paixão	Convento dos Capuchos - Tardoz exterior atrás do altar
Referência da amostra:	CPE2
Data de recolha:	16 de Maio de 2019
Tipologia:	Reboco

Localização em planta

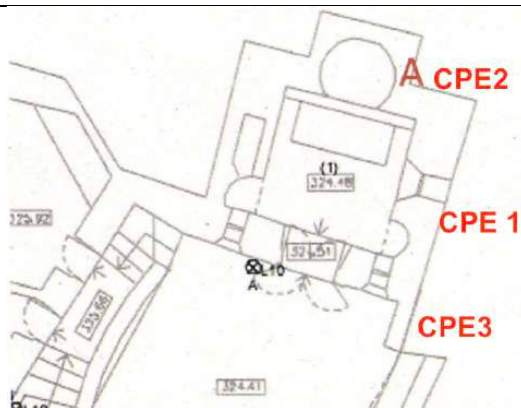


Foto geral do local de recolha	Foto detalhada da zona de recolha
--------------------------------	-----------------------------------



Número de fragmentos:	26
Dimensão aprox. dos fragmentos:	2cm a 5,5cm
Massa dos fragmentos:	291,24 Pó: 129,28g
Massa total dos fragmentos:	420,52g

Observações relevantes:	Amostra recolhida a uma altura compreendida entre 110 cm e 130 cm do solo; 2,5 cm de espessura de reboco
-------------------------	--

Foto geral do conjunto dos fragmentos recolhidos	Foto detalhada do aspeto
--	--------------------------







Descrição: Amostra constituída por 6 fragmento com 5,5 cm de comprimento e entre 1cm e 2cm de espessura e 20 fragmentos com 2,5cm de comprimento e 1cm de espessura. A maior parte dos fragmentos apresentavam biocolonização que conferia uma camada encrustada escura na face exposta mas também havia alguma biocolonização em algumas facetas a tardo, devido a estarem destacadas do suporte. Identificou-se também uma crosta branca de origem desconhecida. Não apresentavam nenhum material cerâmico e os fragmentos eram pouco coesos. A cor é uniforme com tom bege claro, apresentando muitos nódulos brancos de cal de dimensão considerável

A parte da amostra em pó apresenta alguns fragmentos de menor dimensão com cor uniforme igual aos fragmentos maiores, bem como nódulos de cal. A argamassa durante o processo de limpeza fragmentou-se devido à fraca coesão, passado de 20 fragmentos iniciais para 26.

Coesão	Boa		Homogeneidade	Homogénea	X	Biocolonizaçã o	Ausente		Coloração: Bege clara
	Int.			Int.			Pouco Freq.		
	Baixa	X		Heterogénea			Frequente	X	
Nódulos de cal	Ausente		Gama de dimensão: 5mm	Presença de vazios	Ausente		Gama de dimensão: <2mm		
	Pouco Freq.				Pouco Freq.	X			
	Frequente	X			Frequente				

Agregado	Grosseiro		Gama de dimensão: <2mm	Material cerâmico	Ausente	X	Gama de dimensão:
	Int.				Pouco Freq.		
	Fino	X			Frequente		

Forma agregado		Angular		Natureza do agregado:
		Sub-angular		
		Sub-arredondado	X	
		Arredondado		

Local: Capela de Paixão	Convento dos Capuchos – Zona lateral direita, na entrada na galilé
Referência da amostra:	CPE3
Data de recolha:	16 de Maio de 2019
Tipologia:	Reboco

Localização em planta

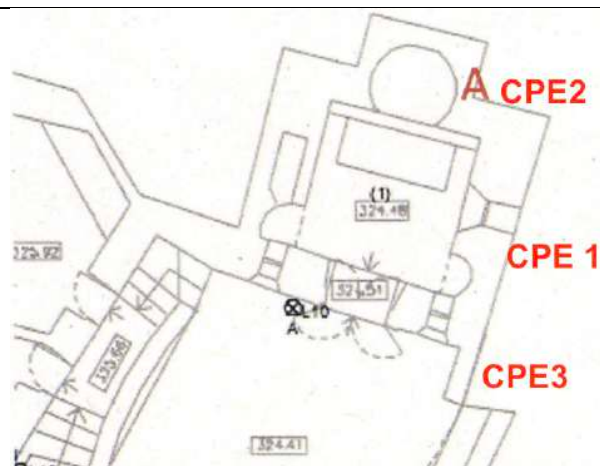


Foto geral do local de recolha

Foto detalhada da zona de recolha



Número de fragmentos:	1
Dimensão aprox. dos fragmentos:	5,5cm
Massa dos fragmentos:	69,75g Pó: 17,40g
Massa total dos fragmentos:	87,15g





Observações relevantes:	<p>Amostra recolhida a 80 cm de altura do solo; Espessura compreendida entre 3 a 3,5cm;</p> <p>Amostra coesa mas a zona em causa apresentava sonoridade oca quando percutida, dando indicação de não aderência;</p> <p>Camada de argamassa estava aplicada sobre alvenaria de pedra;</p> <p>Amostra recolhida com sensivelmente 1,5cm de espessura e o remanescente em pó.</p>
-------------------------	--



Descrição:	<p>Amostra constituída por 1 fragmento com 5,5cm de raio e 1,5 cm de espessura uniforme. O fragmento não apresentava biocolonização na face exposta nem material cerâmico. Esta amostra difere das restantes por ter uma concentração muito mais elevada de agregado bem como tem uma coesão superior. A cor da pasta é uniforme com tom bege acinzentado e o agregado apresenta cor cinza clara, cinza escura e castanha. Apresentava alguns nódulos de cal e não apresentava vazios visíveis.</p> <p>A parte da amostra em pó apresenta alguns fragmentos de menor dimensão com cor uniforme igual ao fragmento.</p>
------------	--

Coesão	Boa	<input checked="" type="checkbox"/>	Homogeneidade	Homogénea	<input checked="" type="checkbox"/>	Biocolonização	Ausente	<input checked="" type="checkbox"/>	Coloração: Bege acinzentada
	Int.	<input type="checkbox"/>		Int.	<input type="checkbox"/>		Pouco Freq.	<input type="checkbox"/>	
	Baixa	<input type="checkbox"/>		Heterogénea	<input type="checkbox"/>		Frequente	<input type="checkbox"/>	
Nódulos de cal	Ausente	<input type="checkbox"/>	Gama de dimensão: <2mm	Presença de vazios	Ausente	<input checked="" type="checkbox"/>	Gama de dimensão:		
	Pouco Freq.	<input checked="" type="checkbox"/>			Pouco Freq.	<input type="checkbox"/>			
	Frequente	<input type="checkbox"/>			Frequente	<input type="checkbox"/>			

Agregado	Grossoiro	<input type="checkbox"/>	Gama de dimensão: <4mm	Material cerâmico	Ausente	<input checked="" type="checkbox"/>	Gama de dimensão:
	Int.	<input checked="" type="checkbox"/>			Pouco Freq.	<input type="checkbox"/>	
	Fino	<input checked="" type="checkbox"/>			Frequente	<input type="checkbox"/>	

Forma agregado		Angular	<input type="checkbox"/>
		Sub-angular	<input checked="" type="checkbox"/>
		Sub-arredondado	<input checked="" type="checkbox"/>
		Arredondado	<input type="checkbox"/>

Natureza do agregado:

Local: Sala do Capítulo	Convento dos Capuchos – Entrada do átrio, parede exterior lado direito perto da janela
Referência da amostra:	ASC1
Data de recolha:	16 de Maio de 2019
Tipologia:	Reboco

Localização em planta



Foto geral do local de recolha

Foto detalhada da zona de recolha



Número de fragmentos:	10
Dimensão aprox. dos fragmentos:	2cm a 15cm
Massa dos fragmentos:	613,29g Pó: 34,07g
Massa total dos fragmentos:	647,36g


Observações relevantes:	<p>Amostra recolhida a uma altura compreendida entre 130 e 140cm; Espessura de 1,5cm; Elemento cerâmico recolhido durante a extração da amostra.</p> <p>Argamassa com coesão intermédia a baixa, com coloração amarela. Barramento com 1 a 1,5mm com cor negra; Não é perceptível granulometria do agregado.</p>
-------------------------	--



Descrição: Amostra constituída por 1 fragmento com 15 cm de comprimento e entre 1cm e 5cm de espessura, 1 fragmento com 10 cm e entre 1cm e 5cm espessura, 8 fragmentos com 2cm de comprimento e 1cm de espessura. Todos os fragmentos apresentavam bastante biocolonização e camada de barramento mais escura com uma espessura de 2mm. Apresentavam bastante material cerâmico (inclusive uma telha com 10cm) e os fragmentos eram coesos. A cor é uniforme com tom bege acastanhado, e não apresentava nódulos de cal visíveis. A face exposta tem uma tonalidade cinzenta escura do barramento. A parte da amostra em pó apresenta alguns fragmentos de menor dimensão com cor uniforme igual aos fragmentos, bem como fragmentos do barramento cinzento e alguma biocolonização.

Coesão	Boa		Homogeneidade	Homogénea		Biocolonizaçã o	Ausente		Coloração: bege acastanhado e barramento cinzento.
	Int.	X		Int.			Pouco Freq.		
	Baixa	X		Heterogénea	X		Frequente	X	
Nódulos de cal	Ausente	X	Gama de dimensão: <2mm	Presença de vazios	Ausente		Gama de dimensão: <2mm		
	Pouco Freq.				Pouco Freq.	X			
	Frequente				Frequente				

Agregado	Grossoiro		Gama de dimensão: <2mm	Material cerâmico	Ausente		Gama de dimensão: 2mm a 10cm
	Int.				Pouco Freq.		
	Fino	X			Frequente	X	

Forma agregado		Angular		Natureza do agregado:
		Sub-angular		
		Sub-arredondado	X	
		Arredondado		

Local: Cozinha	Convento dos Capuchos – Parede interior esquerda junto à pia, zona com lacuna junto a assentamento de azulejo
Referência da amostra:	CZ1
Data de recolha:	16 de Maio de 2019
Tipologia:	Reboco

Localização em planta

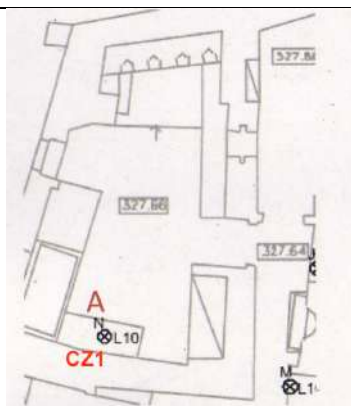
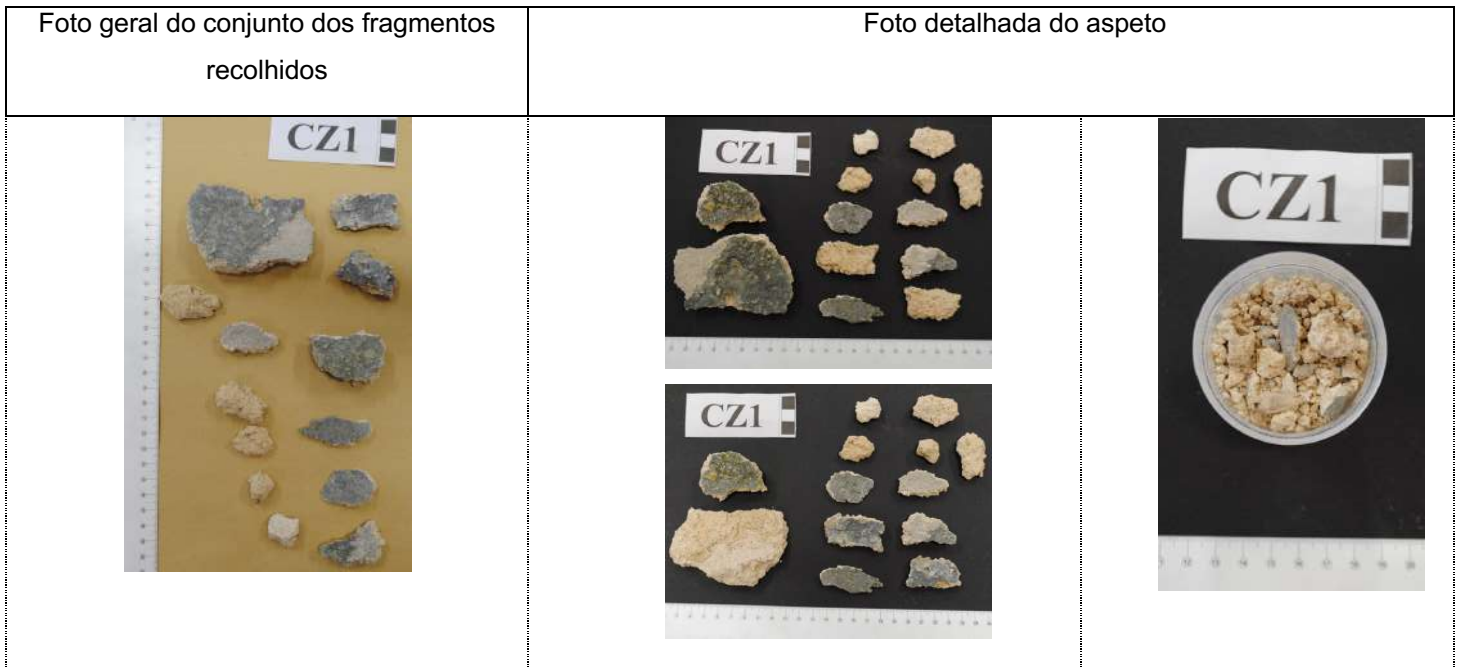


Foto geral do local de recolha	Foto detalhada da zona de recolha
--------------------------------	-----------------------------------



Número de fragmentos:	13
Dimensão aprox. dos fragmentos:	2cm a 9 cm
Massa dos fragmentos:	146,31g Pó: 86,59g
Massa total dos fragmentos:	241,90g





Observações relevantes:	<p>Amostra recolhida com 2,5cm de espessura;</p> <p>Amostra recolhida com baixa coesão e sem aderência. Encontrava-se sobre outra camada de argamassa visualmente semelhante, mas coesa.</p> <p>Presença de raízes na amostra, passando com pincel estas desfaziam-se.</p>
-------------------------	--



Descrição: Amostra constituída por 1 fragmento com 9cm de comprimento e 1cm de espessura máxima, 1 fragmento com 5cm e entre 1,5cm e 2cm de espessura, 8 fragmentos com 3,5cm de comprimento e com entre 0,5cm e 1cm de espessura e 3 fragmentos com 2cm de comprimento e 1cm de espessura. Quase todos os fragmentos apresentavam alguma biocolonização e 5 fragmentos apresentavam camada de barramento cinzenta com uma espessura de 2mm. Não apresentavam material cerâmico e os fragmentos eram pouco coesos. A cor é uniforme com tom bege, apresentava alguns nódulos de cal e alguns vazios. A face exposta tem uma tonalidade cinzenta-azulada do barramento. A parte da amostra em pó apresenta alguns fragmentos de menor dimensão com cor uniforme igual aos fragmentos, bem como fragmentos do barramento cinzento e alguma biocolonização.

Coesão	Boa		Homogeneidade	Homogénea		Biocolonização	Ausente		Coloração: Bege com barramento cinzento-azulado
	Int.			Int.			Pouco Freq.		
	Baixa	X		Heterogénea			Frequente	X	
Nódulos de cal	Ausente		Gama de dimensão: 2mm	Presença de vazios	Ausente		Gama de dimensão: <2mm		
	Pouco Freq.	X			Pouco Freq.	X			
	Frequente				Frequente				

Agregado	Grossoiro		Gama de dimensão: 3mm	Material cerâmico	Ausente	X	Gama de dimensão:
	Int.				Pouco Freq.		
	Fino	X			Frequente		

Forma agregado		Angular	
		Sub-angular	X
		Sub-arredondado	
		Arredondado	

Natureza do agregado:

Local: Cella 3	Convento dos Capuchos – Localizada em frente da cela do guardião, zona com lacuna junto ao pavimento.
Referência da amostra:	CE1
Data de recolha:	16 de Maio de 2019
Tipologia:	Reboco

Localização em planta

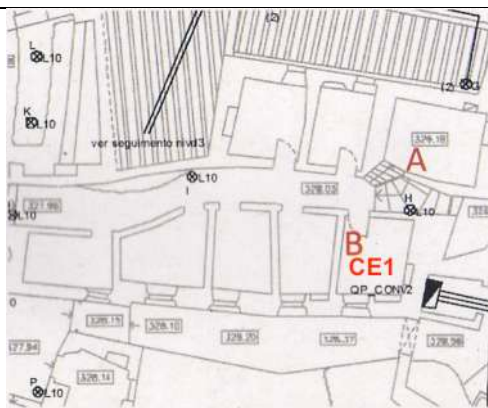
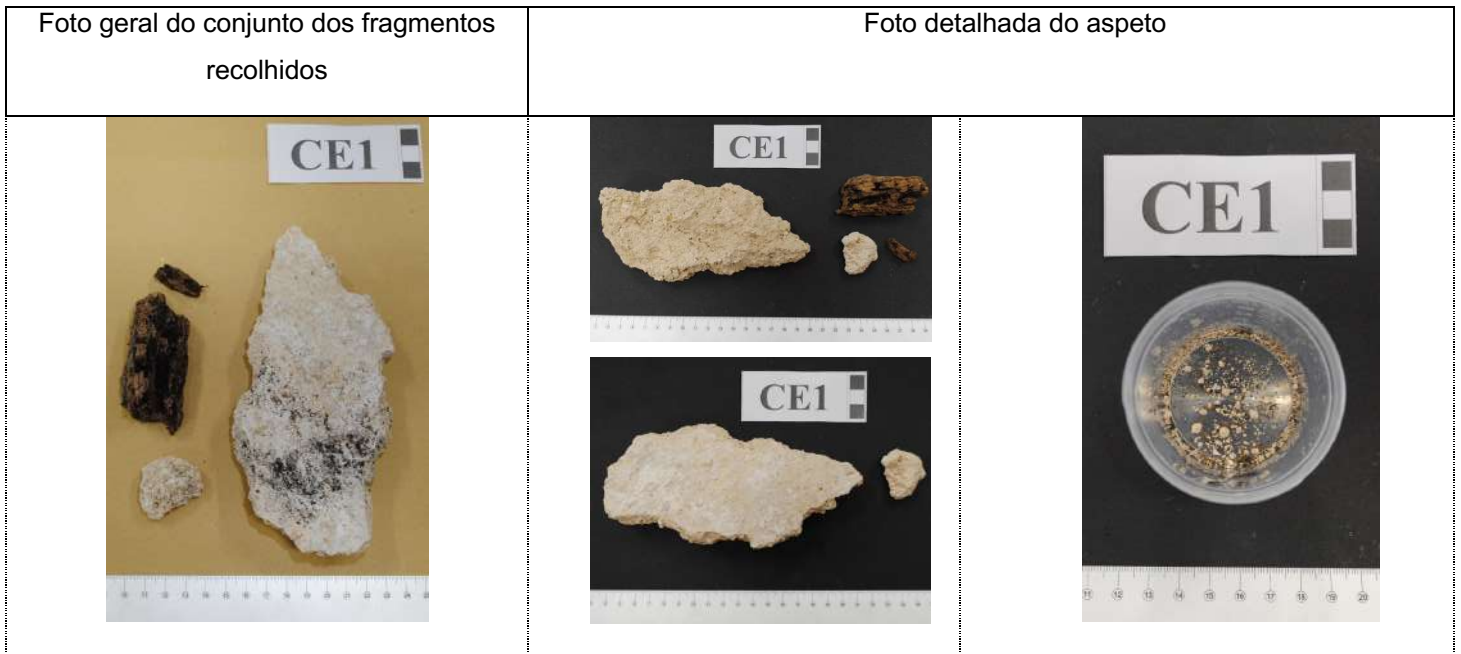


Foto geral do local de recolha	Foto detalhada da zona de recolha
--------------------------------	-----------------------------------



Número de fragmentos:	3
Dimensão aprox. dos fragmentos:	3,5cm a 17cm
Massa dos fragmentos:	256,22g Madeira: 6,59g Pó: 0,53g
Massa total dos fragmentos:	256,75


Observações relevantes:	<p>Amostra recolhida com 3 cm de espessura; Presença de terra e elemento de madeira;</p> <p>Elemento de madeira com estado de podridão elevado e presença de alguma quantidade de terra humedecida e raízes. Junto das raízes, a argamassa de assentamento encontrava-se escurecida, húmida e fragmentada.</p> <p>Peças cerâmicas incluídas na amostra. Aparece ser uma zona de reparação: alvenaria com ladrilhos cerâmicos e elementos de madeira. 1 cm de reboco sem aderência ao suporte</p>
-------------------------	--



Descrição:	<p>Amostra constituída por 1 fragmento com 17cm de comprimento e 2cm de espessura máxima, 1 fragmento com 3,5cm e 1cm de espessura, e 1 fragmento de madeira com 6cm de comprimento. Nenhum fragmento apresentava biocolonização nem material cerâmico. Os fragmentos eram coesos. A cor é uniforme com tom bege claro, apresentava alguns nódulos de cal e alguns vazios. A face exposta tem uma apresenta uma espécie de tinta/caiação muito diluída. Dada à sua dimensão, a parte da amostra em pó é irrelevante.</p>
------------	--

Coesão	Boa	X	Homogeneidade	Homogénea	X	Biocolonização	Ausente	X	Coloração: Bege clara
	Int.			Int.			Pouco Freq.		
	Baixa			Heterogénea			Frequente		
Nódulos de cal	Ausente		Gama de dimensão: <4mm	Presença de vazios	Ausente		Gama de dimensão: <3mm		
	Pouco Freq.	X			Pouco Freq.	X			
	Frequente				Frequente				

Agregado	Grosseiro		Gama de dimensão: <2mm	Material cerâmico	Ausente		Gama de dimensão:
	Int.				Pouco Freq.	X	
	Fino	X			Frequente		

Forma agregado		Angular		Natureza do agregado:
		Sub-angular		
		Sub-arredondado	X	
		Arredondado		

Local: Casa das Águas	Convento dos Capuchos – Parede interior lado esquerdo por baixo do vão e junto ao pavimento
Referência da amostra:	CA1
Data de recolha:	16 de Maio de 2019
Tipologia:	Reboco

Localização em planta



Foto geral do local de recolha



Foto detalhada da zona de recolha



Número de fragmentos:	1
Dimensão aprox. dos fragmentos:	
Massa dos fragmentos:	462,63g Pó: 108,3
Massa total dos fragmentos:	570,93g

Observações relevantes:	<p>Argamassa com coesão intermédia humedecida. Apresentava nódulos de cal com frequência intermédia com dimensão compreendida entre 2 mm a 1 cm. Granulometria fina pois não se distingue a presença de partículas.</p> <p>Amostra recolhida com pouca aderência ao suporte</p>
-------------------------	---




Descrição:	<p>Amostra constituída por 1 fragmento com 14cm de comprimento e 4cm de espessura. Não apresentava biocolonização nem material cerâmico. O fragmento apresenta duas camadas de argamassa, sendo que a camada exterior tem uma espessura máxima de 4cm e apresenta maior coesão, a camada interior é pouco coesa. A cor é uniforme com tom bege acastanhado, apresentava alguns nódulos de cal e alguns vazios. De notar que esta amostra apresentava um elevado teor em água. A parte da amostra em pó apresenta alguns fragmentos de menor dimensão com cor uniforme igual aos fragmentos, bem como fragmentos do barramento cinzento e alguma biocolonização.</p>
------------	---

Coesão	Boa		Homogeneidade	Homogénea		Biocolonização	Ausente	X	Coloração: bege acastanhada
	Int.	X		Int.			Pouco Freq.		
	Baixa			Heterogénea	X		Frequente		

Nódulos de cal	Ausente		Gama de dimensão: 2mm a 4mm	Presença de vazios	Ausente		Gama de dimensão: 2mm a 4mm
	Pouco Freq.	X			Pouco Freq.		
	Frequente				Frequente	X	

Agregado	Grossoiro		Gama de dimensão:	Material cerâmico	Ausente	X	Gama de dimensão:
	Int.				Pouco Freq.		
	Fino	X			Frequente		

Forma agregado		Angular		Natureza do agregado:
		Sub-angular	X	
		Sub-arredondado		
		Arredondado		

Local: Herbolário	Convento dos Capuchos – Parede exterior esquerda da entrada
Referência da amostra:	HE1
Data de recolha:	16 de Maio de 2019
Tipologia:	Reboco

Localização em planta

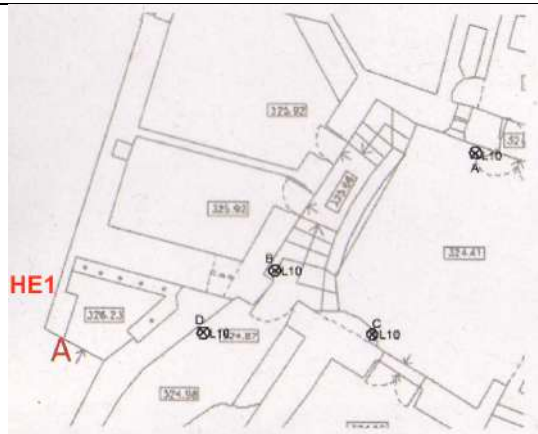
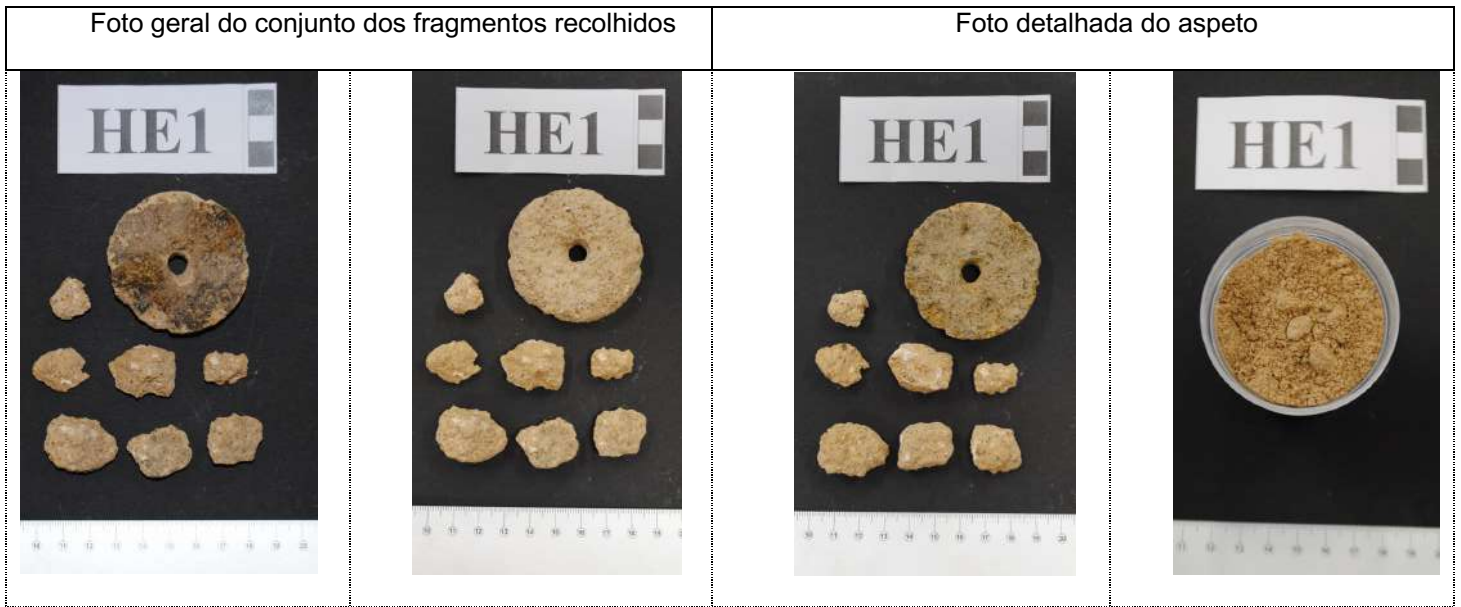


Foto geral do local de recolha	Foto detalhada da zona de recolha
--------------------------------	-----------------------------------



Número de fragmentos:	8
Dimensão aprox. dos fragmentos:	1,5cm a 5,5cm
Massa dos fragmentos:	65,87g Pó: 92,34g
Massa total dos fragmentos:	158,21g

Observações relevantes:	Amostra recolhida a uma altura compreendida entre 55 a 60 cm do solo e com uma espessura de 2,5 a 3cm; Presença frequente de nódulos de cal branca, com dimensão da ordem do centímetro; Reboco aparenta coesão mas sem aderência ao suporte, ao percutir sonoridade oca. Junto às telhas, argamassa com homogeneidade. De seguida, zona muito heterogénea com material cerâmico e saibro granítico visível. Tonalidade: amarelada e cinzento
-------------------------	---







Descrição:	<p>Amostra constituída por 1 fragmento com 5,5cm de raio e 1,3 cm de espessura máxima e 7 fragmentos com 5cm e entre 1,5cm e 2cm de espessura. O fragmento maior apresentava alguma biocolonização na face exposta. Não apresentavam material cerâmico e os fragmentos eram pouco coesos. A cor é uniforme com tom bege, apresentava alguns nódulos de cal mas sem vazios.</p> <p>A parte da amostra em pó apresenta alguns fragmentos de menor dimensão com cor uniforme igual aos fragmentos, bem como fragmentos do barramento cinzento e alguma biocolonização.</p>
-------------------	---

Coesão	Boa	X	Homogeneidade	Homogénea	X	Biocolonização	Ausente		Coloração: Bege
	Int.	X		Int.			Pouco Freq.		
	Baixa			Heterogénea			Frequente	X	

Nódulos de cal	Ausente		Gama de dimensão: 5mm	Presença de vazios	Ausente	X	Gama de dimensão:
	Pouco Freq.				Pouco Freq.		
	Frequente	X			Frequente		

Agregado	Grossoiro		Gama de dimensão: <2mm	Material cerâmico	Ausente	X	Gama de dimensão:
	Int.				Pouco Freq.		
	Fino	X			Frequente		

Forma agregado		Angular		Natureza do agregado:
		Sub-angular		
		Sub-arredondado	X	
		Arredondado		

