

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Flávia Regina Cardozo Cajado

**IMPORTÂNCIA DO USO DE ARGAMASSA DE CAL NA
RESTAURAÇÃO DE FACHADAS REVESTIDAS POR
AZULEJOS FABRICADOS NO FINAL DO SÉCULO XIX E
INÍCIO DO SÉCULO XX.**

Porto Alegre

junho 2016

Flávia Regina Cardozo Cajado

**IMPORTÂNCIA DO USO DE ARGAMASSA DE CAL NA
RESTAURAÇÃO DE FACHADAS REVESTIDAS POR
AZULEJOS FABRICADOS NO FINAL DO SÉCULO XIX E
INÍCIO DO SÉCULO XX.**

Projeto de Pesquisa do Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Cristiane Sardin Padilla de Oliveira

Coorientador: Sandro Miguel dos Santos Botas

Porto Alegre

junho 2016

Flávia Regina Cardozo Cajado

**IMPORTÂNCIA DO USO DE ARGAMASSA DE CAL NA
RESTAURAÇÃO DE FACHADAS REVESTIDAS POR
AZULEJOS FABRICADOS NO FINAL DO SÉCULO XIX E
INÍCIO DO SÉCULO XX.**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pelo Relator da atividade de ensino Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 28 de junho de 2016

Profa. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

Sandro Miguel dos Santos Botas
Doutorando pela Universidade de Aveiro, Portugal
Coorientador

Prof. Inácio Benvegnu Morsch
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Relator

BANCA EXAMINADORA

Profa. Carina M. Stolz (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Inácio Benvegnu Morsch (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha mãe,
à minha irmã e aos meus sobrinhos amados,
flores do meu jardim.

AGRADECIMENTOS

Talvez seja esta a parte mais difícil de todo o meu trabalho, pois como agradecer à todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a minha chegada até o final do curso? Graças à Deus foram muitas ao longo da minha graduação!

Então, sintam-se todos representados pelos nomes que citarei aqui.

Começando pela minha orientadora querida, professora Cristiane Sardin Padilla de Oliveira, não apenas pelas importantes observações pertinentes ao meu trabalho, mas também e principalmente pelo incentivo, dedicação e alegria que sempre me transmitiu.

Ao meu coorientador Sandro Miguel dos Santos Botas, que muito enriqueceu o meu trabalho, com suas considerações e correções sempre responsáveis e apropriadas. Aproveito para agradecer-lhe mais uma vez, pela gentileza em ter aceito o meu convite e de ter me proporcionado grande aprendizado ao longo dos últimos meses.

Aos componentes da banca, professores Inácio Benvegnu Morsch e Carina M. Stolz pelo tempo dedicado à análise do meu trabalho e pelas importantes observações.

Aos funcionários da faculdade, que na limpeza, na segurança, nas secretarias e na biblioteca, são fundamentais à nossa vida acadêmica. Meu agradecimento em especial à bibliotecária Vera Lucia Longaray, que desde o início do curso sempre me dispensou muita atenção e cuidado.

A cada um dos meus professores, principalmente àqueles que, em momentos difíceis muito me ajudaram disponibilizando do seu tempo para me ouvir e me confortar, a exemplo dos meus queridos professores João Albano, João Ricardo Masuero, Roberto Rios, Luciani Somensi Lorenzi e sobretudo meu querido professor Morsch, meu “anjo da guarda”.

Aos amigos Michele Coelho, Paulo Ricardo, Fernando da Rosa Martins e tantos outros, cuja amizade nasceu e se consolidou durante o curso, à Sandra Damer, minha amiga querida e em especial ao meu irmão do coração Eduardo Montagna.

Ao João Antônio Krahe, pelo apoio financeiro e por me fazer descobrir o quanto sou forte e capaz.

Ao meu querido e saudoso avô Valdomiro, meu avô Dozinho, por ter me dedicado tanto amor e carinho e pela proteção e orientação eternas.

À minha Jade ...

Finalmente um agradecimento muito especial à minha mãe Zélia, à minha irmã Márcia, ao meu cunhado Frank e aos meus dois sobrinhos amados Fabrício e Danilo. Agradeço à Deus sempre por tê-los como minha família. A minha força vem de vocês!

Se não houver frutos, valeu a beleza das flores.
Se não houver flores, valeu a sombra das folhas.
Se não houver folhas, valeu a intenção da semente.
Henfil

RESUMO

Os prédios históricos compõem a identidade de um povo. Transmitem ao estrangeiro, características e peculiaridades daquele lugar e de seus habitantes e deixam como legado às gerações futuras, um material vasto de conhecimentos. Assim são as antigas fachadas revestidas com azulejos provenientes do final do século XIX e início do século XX, base deste estudo e que constituem uma pequena parte do rico rol de edificações importantes na história de Portugal e do Brasil, que merecem e precisam ser cuidadas e preservadas.

Contudo, a falta de informação sobre as características e funcionalidades dos materiais originais faz com que frequentemente estes sejam removidos e substituídos por soluções nem sempre adequadas, provocando danos muitas vezes irreparáveis à fachada e ao imóvel como um todo. O uso do cimento Portland como argamassa de assentamento, por exemplo, provoca a perda definitiva dos azulejos, além de propiciar o surgimento de manifestações patológicas importantes na edificação antiga, diminuindo a sua vida útil.

O presente trabalho visa comprovar, através da apresentação e análise de estudos realizados no Brasil e em Portugal, a necessidade do conhecimento sobre os materiais e técnicas empregadas originalmente nas fachadas azulejadas antigas. Dessa maneira, pretende-se salientar a importância da utilização de elementos cuja composição e trabalhabilidade sejam similares aos da época em detrimento ao uso de soluções atuais, como as argamassas compostas por cimento Portland.

Palavras-chave: Fachadas Azulejadas Antigas. Azulejos Fabricados no Final do Século XIX e Início do Século XX. Restauração. Argamassas de Assentamento à Base de Cal.

ABSTRACT

Historic buildings make the identity of people. They transmit around the world the aspects and peculiarities of a place and their inhabitants, and leave an extensive material as a legacy to the next generation. These are the ancient facades coated with tiles coming from the end of the 19th century and beginning of the 20th century. They are the basis of this project and represent a small part of the big list of important buildings in Portugal and Brazil history that deserve and need be cared for and preserved.

However, the lack of information about the characteristics and functionalities of the starting materials results in its frequent removal and replacement for solutions that are not always appropriate, causing, many times, irreparable damages to the facade and to the building as a whole. The use of the Portland cement as laying mortar, for example, causes the permanent loss of the tiles, in addition to bring the appearance of important pathological manifestations in the ancient building, reducing its lifetime.

The objective of this project is to prove, through the presentation and case study analysis conducted in Brazil and in Portugal, the need of knowledge about the material and techniques originally applied to ancient facades coated with tiles. That way, the intention is to emphasise the importance of the use of components whose composition and workability are similar to the ones of that time to the detriment of the use of current solutions as mortars composed of Portland cement.

Keywords: Ancient Facades Coated With Tiles. Tiles Coming From The End Of The 19th Century And Beginning Of The 20th Century. Restoration. Lime Laying Mortar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Casa da frontaria azulejada, 1865, Santos, Brasil	8
Figura 2 – Diagrama esquemático do delineamento do trabalho	14
Figura 3 – Mosaico bizantino, 547 a.C., Basílica de San Vitale, Ravenna, Itália	16
Figura 4 – Confeção do azulejo alicatado na Andaluzia, Espanha.....	17
Figura 5 – Azulejo hispano-mourisco do século XVI, confeccionado com as técnicas da corda-seca e aresta	18
Figura 6 – Painel de azulejos majólico do ano de 1558, produzidos em Flandres, importados por Portugal	19
Figura 7 – Parede da Capela de São Miguel, na Universidade de Coimbra, Portugal, revestida com composição em azulejos padrão e cercaduras, séc. XVII	20
Figura 8 – Azulejo historiado na Igreja dos Lóios, Évora, Portugal, 1711	21
Figura 9 – Figura de convite, feminina, Lisboa, Portugal, 2ª metade do séc. XVIII	22
Figura 10 – Fachadas azulejadas de casas na cidade do Porto, Portugal	23
Figura 11 – Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres, Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil.	25
Figura 12 – Painel em azulejo do Palácio do Saldanha, séculos XVII a XVIII, Salvador, Bahia, Brasil	26
Figura 13 – Painel de azulejos na Igreja da Ordem Terceira de São Francisco, 1737, Salvador, Bahia, Brasil.	26
Figura 14 – Solar do Conde dos Arcos, 1820/30, Salvador, Bahia, Brasil	27
Figura 15 – Casarão com fachada azulejada em São Luís do Maranhão, Brasil	28
Figura 16 – Fachada com azulejos franceses, de Pays du Calais, séc. XIX. Rio de Janeiro, Brasil.	29
Figura 17 – Moldes de papel encerado para uso da técnica da Estampilha	31

Figura 18 – Azulejo do final do séc. XIX, evidenciando as pinceladas de cor aplicadas através das aberturas da estampilha	32
Figura 19 – Azulejo de padrão relevado, séc. XIX, Portugal	33
Figura 20 – Argamassa de cal, do século XIX, em várias camadas e com colorações características	40
Figura 21 – Fingidos de azulejo em fachada (século XIX)	41
Figura 22 – Desenho esquemático de uma fachada azulejada típica com as suas partes constituintes	42
Figura 23 – Vidrado e tardez com muraturas de um azulejo	43
Figura 24 – Padrão <i>craquelé</i> em azulejos de fachada, Lisboa, Portugal (século XIX)	44
Figura 25 – Estágio avançado do destacamento a partir das arestas em uma fachada revestida com um padrão raro de azulejo de exterior	45
Figura 26 – Desagregação do biscoito, possivelmente provocada por cristalização de sais solúveis.....	46
Figura 27 – Altura atingida pela água na alvenaria antiga em função da mudança nas condições de evaporação	48
Figura 28 – Eflorescências e criptoflorescências de sais provenientes da umidade ascensional	49
Figura 29 – Estágio final da degradação da fachada com a perda total dos azulejos e descaracterização do imóvel quanto ao seu valor histórico, em Lisboa, Portugal.....	51
Figura 30 – Organização dos ensaios executados nos azulejos	53
Figura 31 – Aparelho utilizado no ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio	55
Figura 32 – Penetrômetro com amostra do azulejo a ser ensaiado	56
Figura 33 – Ensaio de absorção de água por fervura	58
Figura 34 – Recipiente com amostra apoiada em material geotêxtil e imersa em água ...	60
Figura 35 – Conjunto azulejo e recipiente isolados com cera de abelha	62
Figura 36 – Representação da porosidade aberta e fechada de um material	63

Figura 37 – Valores assintóticos de absorção capilar e porosidade aberta das amostras de azulejos	71
Figura 38 - Gráfico com os dados do ensaio de absorção de água ao longo do tempo dos azulejos	75
Figura 39 – Ciclo da cal aérea na argamassa	82
Figura 40 – Microestrutura de duas amostras de argamassas de cal aérea	83
Figura 41 – Organização dos ensaios executados nas amostras de argamassa antiga	84
Figura 42 – Determinação das dimensões das amostras de argamassas	89
Figura 43 – Preparação da amostra para o ensaio de resistência à compressão	90
Figura 44 – Momento de ruptura da amostra ensaiada	91
Figura 45 – Amostras em contato com a água destilada	92
Figura 46 – Amostras durante o ensaio de absorção total por imersão	92
Figura 47 – Ensaio de carbonatação em amostra de argamassa antiga	101
Figura 48 – Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas antigas	103
Figura 49 – Resistência à compressão para argamassas com vários tipos de aglomerantes	104
Figura 50 – Resistência à compressão das amostras de argamassas antigas	105
Figura 51 – Absorção de água ao longo do tempo para amostras de argamassas antigas	106
Figura 52 – Curva granulométrica da areia utilizada nas amostras de argamassa	118
Figura 53 – Curva granulométrica da areia de rio e de saibro usadas na mistura de 50% final	118
Figura 54 - Organização dos ensaios realizados nas amostras de argamassa no estado plástico	120
Figura 55 – Determinação da consistência da argamassa pela penetração do cone	120
Figura 56 – Ensaio de consistência por espalhamento	121
Figura 57 – Ensaio de retenção de água por sucção com bomba de vácuo	123

Figura 58 – organização dos ensaios das argamassas de substituição no estado endurecido	124
Figura 59 – Prensa e ensaios de resistência à tração na flexão e de compressão	125
Figura 60 – Procedimento para ensaio de retração linear por secagem	127
Figura 61 – Aparelho usado no ensaio de susceptibilidade à fendilhação	128
Figura 62 – Medições realizadas para o ensaio de densidade de massa aparente	129
Figura 63 – Ensaio de profundidade carbonatada em corpo de prova	130
Figura 64 - Ensaio de absorção de água por capilaridade	131
Figura 65 – Corpos de prova imersos em água para realização do ensaio de absorção total por imersão	132
Figura 66 – Relação entre as resistências à compressão e à tração na flexão e o teor de metacaulim	136
Figura 67 – Resistência à flexão na tração e à compressão para amostras com idade de 28 dias	137
Figura 68 – Relação entre o módulo de elasticidade dinâmico e o teor de metacaulim ..	138
Figura 69 – Módulo de elasticidade para amostras com idade de 28 dias	140
Figura 70 – Relação entre a percentagem de retração e a idade das amostras de argamassas	141
Figura 71 – Relação entre a percentagem de retração aos 90 dias de idade e o teor de metacaulim	142
Figura 72 – Gráfico relacionando a perda de massa com as várias idades para as amostras de argamassa	142
Figura 73 – Relação entre a densidade de massa aparente aos 28 dias e o teor de metacaulim	145
Figura 74 – Gráfico relacionando a absorção de água com o tempo	147
Figura 75 – Relação entre o coeficiente de capilaridade médio das argamassas e o teor de metacaulim	148

Figura 76 – Absorção de água por capilaridade das amostras aos 28 dias e 90 dias	149
Figura 77 – Organização dos ensaios realizados na interface azulejo/argamassa	157
Figura 78 – Argamassa aderida ao tardo de azulejo antigo	157
Figura 79 – Preparação das amostras para o ensaio de extensão de aderência	158
Figura 80 – Comparação entre o microscópio ótico convencional e o MEV	159
Figura 81 – Ensaio de análise aos sais da argamassa aderida	161
Figura 82 – Representação da configuração do corpo de prova para o ensaio da resistência de aderência à tração	162
Figura 83 – Imagem do Tubo de Karsten	163
Figura 84 – Esquema de utilização do tubo de Karsten e seu uso durante o ensaio	164
Figura 85 – Visualização da área de argamassa original aderida ao tardo de azulejo ...	165
Figura 86 – Comparação entre as interfaces azulejo/argamassa nos casos analisados	166
Figura 87 – Localização das zonas de retirada das amostras na fachada JF	170
Figura 88 – Localização das zonas de retirada das amostras na fachada MO	171
Figura 89 – Características analisadas das argamassas com cimento Portland	175
Figura 90 – Argamassas colantes utilizadas no ensaio de Uchôa, 2015	176
Figura 91 – Curva da distribuição granulométrica da areia utilizada	180
Figura 92 – Resistência à tração e à compressão das argamassas AC II e AC III	185
Figura 93 – Módulo de elasticidade das argamassas AC II e AC III	185
Figura 94 – Gráficos dos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão	186
Figura 95 – Gráfico do ensaio de absorção de água por capilaridade	186
Figura 96 – Resistência à tração na flexão e à compressão aos 28 dias e 56 dias	187
Figura 97 – Módulo de elasticidade aos 7 dias, 28 dias e 56 dias	188
Figura 98 – Coeficiente de capilaridade e de resistência ao vapor de água	189
Figura 99 – Materiais constituintes da produção do cimento Portland	195
Figura 100 – Dados relativos ao questionário aplicado	202

Figura 101 – Fachada com falta de azulejos e com assentamento utilizando argamassa de cimento	204
Figura 102 – Umidade ascendente com camada de revestimento pouco permeável	205
Figura 103 – Fachada azulejada com manchas decorrentes do excesso de água	206
Figura 104 – Instabilidade de vários azulejos em fachada, devido ao excesso de umidade	206
Figura 105 – Perda de vários azulejos em fachada devido ao excesso de umidade	207
Figura 106 – Desenho esquemático de uma alvenaria antiga revestida com material pouco permeável	207
Figura 107 – Estágio terminal da degradação com sinais de cristalizações salinas	208
Figura 108 – Gráfico representativo dos tipos de danos verificados nas fachadas azulejadas	209
Figura 109 – Fachada azulejada em progressivo estado de degradação em São Luís, Maranhão, Brasil	211

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Requisitos e critérios, estabelecidos pela NBR 14081:2004, para as argamassas colantes industrializadas	177
Quadro 2 – Características mecânicas aos 28 dias, das argamassas de restauração	191
Quadro 3 – Características não mecânicas aos 28 dias, das argamassas de restauração	191
Quadro 4 – Critérios gerais de decisão sobre o tipo de intervenção	200

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Identificação mineralógica dos azulejos de acordo com sua predominância	65
Tabela 2 – Composição mineralógica e absorção total de água dos azulejos, de acordo com sua procedência	67
Tabela 3 – Composição mineralógica e porosidade de diversas amostras de azulejos ...	68
Tabela 4 – Agrupamento de amostras de acordo com a sua mineralogia	68
Tabela 5 – Análise química total das amostras de acordo com a sua procedência	69
Tabela 6 – Composição química de azulejos antigos e réplicas produzidas em Portugal	70
Tabela 7 – Ensaio de absorção de água por capilaridade e porosidade aberta em azulejos	71
Tabela 8 – Ensaio de permeabilidade ao vapor de água em azulejos	72
Tabela 9 – Ensaio de absorção de água por fervura e porosimetria por intrusão de mercúrio em azulejos	73
Tabela 10 – Resultados médios de absorção ao longo do tempo para azulejos	74
Tabela 11 – Caracterização mineralógica das argamassas antigas ensaiadas	94
Tabela 12 – Caracterização mineralógica das argamassas antigas ensaiadas	95
Tabela 13 – Percentagem de calcita das amostras a partir do ensaio de ATG	97
Tabela 14 – Características da pasta das argamassas antigas ensaiadas	98
Tabela 15 – Características dos agregados das argamassas antigas ensaiadas	98
Tabela 16 – Características dos vazios das argamassas antigas ensaiadas	99
Tabela 17 – Reconstituição de traço das argamassas antigas ensaiadas	100
Tabela 18 – Módulo de elasticidade dinâmico das amostras de argamassas e de seus imóveis	102
Tabela 19 – Resistência à compressão das amostras de argamassas e de seus imóveis ...	104
Tabela 20 – Absorção de água por capilaridade de argamassas antigas ensaiadas	106
Tabela 21 – Permeância ao vapor de água para amostras de argamassa	107

Tabela 22 – Nomenclatura e proporção das amostras de argamassa para restauração	117
Tabela 23 – Nomenclatura, proporcionamento e relação água/aglomerante das amostras de argamassa	119
Tabela 24 – Valores obtidos dos ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco	133
Tabela 25 – Consistência por espalhamento das amostras de argamassa analisadas	133
Tabela 26 – Massa volúmica obtida para as amostras de argamassa	134
Tabela 27 – Massa volúmica aparente das matérias primas	135
Tabela 28 – Valores médios para a resistência à tração na flexão e à compressão das amostras de argamassas	135
Tabela 29 – Valores médios para a resistência à tração na flexão das amostras de argamassas	137
Tabela 30 – Valores médios para a resistência à tração na compressão das amostras de argamassas	137
Tabela 31 – Valores médios para a resistência à tração na flexão e à compressão das amostras de argamassas	138
Tabela 32 – Valores médios do módulo de elasticidade dinâmico por frequência de ressonância	139
Tabela 33 – Valores médios da variação dimensional das amostras de argamassas	140
Tabela 34 – Média da variação de massa ao longo de várias idades para as amostras de argamassa	142
Tabela 35 – Valores do ensaio de susceptibilidade à fendilhação	144
Tabela 36 – Resultados médios do ensaio de densidade aparente no estado endurecido por amostra	144
Tabela 37 – Resultados médios da profundidade carbonatada das argamassas aos 28 dias e 90 dias de cura	146
Tabela 38 – Resultados médios de absorção de água por capilaridade das amostras	147

Tabela 39 – Coeficiente de capilaridade médio das argamassas	148
Tabela 40 – Média do coeficiente de capilaridade aos 28 e 90 dias	148
Tabela 41 – Média de absorção de água por amostra de argamassa	149
Tabela 42 – Resultados médios da área de argamassa aderida no tardo dos azulejos antigos	165
Tabela 43 – Resultados médios da extensão de aderência das amostras de azulejos antigos com argamassas de assentamento ainda aderidas	166
Tabela 44 – Dados resultantes do ensaio de análise aos sais em amostras de argamassas aderidas	168
Tabela 45 – Resultados potenciais médios de resistência de aderência à tração	169
Tabela 46 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente das amostras JF	170
Tabela 47 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente das amostras MO	171
Tabela 48 – Traço em volume e em massa das três amostras analisadas	178
Tabela 49 – Exigências químicas da NBR 7175:2003 para as cais hidratadas	179
Tabela 50 – Exigências físicas da NBR 7175:2003 para as cais hidratadas	179
Tabela 51 – Cimentos normalizados no Brasil	179
Tabela 52 – Descrição das argamassas estudadas e sua simbologia	181
Tabela 53 – Composição e traço em massa das amostras de argamassas CC.01 e CC.02	181
Tabela 54 – Tipos de cimentos fabricados em Portugal	182
Tabela 55 – Classes de resistência e requisitos físicos dos cimentos	182
Tabela 56 – Composições com diferentes teores de cimento Portland e escória de alto forno	183
Tabela 57 – Composições com diferentes teores de ativador alcalino, cimento Portland de tempo de cura rápido e escória de alto forno	183
Tabela 58 – Resultados da caracterização dos produtos em pasta das amostras em estudo	184

Tabela 59 – Resistência à tração na flexão, à compressão e módulo de elasticidade das argamassas AC II e AC III	184
Tabela 60 – Comparação entre as argamassas analisadas e os limites estipulados por Veiga (2005)	193

LISTA DE SIGLAS

a.C. – Antes de Cristo

ATG – Análise Termogravimétrica

d.C. – Depois de Cristo

DRX – Difração por Raios-X

E – Módulo de Elasticidade

IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

LMPT – Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termo Físicas

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LPCM – Laboratório de Preparação e Caracterização de Materiais

MEV – Microscópio Eletrônico de Varredura

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	08
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	12
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	12
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	12
2.2.1 Objetivo Principal	12
2.2.2 Objetivo Secundário	12
2.3 HIPÓTESE	12
2.4 PRESSUPOSTO	13
2.5 DELIMITAÇÕES	13
2.6 LIMITAÇÕES	13
2.7 DELINEAMENTO	13
3 AZULEJOS DE FACHADA, UM PANORAMA A RESPEITO	15
3.1 BREVE HISTÓRICO DOS AZULEJOS	15
3.1.1 A Origem	15
3.1.2 Na Península Ibérica	16
3.1.3 A Azulejaria Portuguesa	19
3.1.4 Em terras Brasileiras	24
3.2 CARACTERÍSTICAS E TÉCNICAS DE FABRICAÇÃO	29
4 IMPORTÂNCIA DAS FACHADAS AZULEJADAS ANTIGAS	35
4.1 ARGAMASSAS ANTIGAS DE CAL E SEU USO EM PORTUGAL E NO BRASIL	35
4.1.1 O uso da Cal em Portugal	36
4.1.2 Argamassas Bastardas no Brasil	37

4.2 ALVENARIA ANTIGA, COMPOSIÇÃO E ANÁLISE	39
5 PRINCIPAIS PATOLOGIAS DAS FACHADAS AZULEJADAS ANTIGAS	42
5.1 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	42
5.1.1 Quanto ao Azulejo Antigo	43
5.1.2 Quanto à Alvenaria Antiga	47
5.1.3 Quanto à Fachada Azulejada Antiga	50
6 AZULEJOS DE FACHADA, COMPOSIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO	52
6.1 ENSAIOS EXECUTADOS	53
6.1.1 Difração de Raios X (DRX)	54
6.1.2 Porosimetria por Intrusão de Mercúrio	54
6.1.3 Absorção de Água Total por Fervura	57
6.1.4 Absorção de Água ao Longo do Tempo ou Absortividade	58
6.1.5 Absorção de Água por Capilaridade	59
6.1.6 Permeabilidade ao Vapor de Água	61
6.1.7 Porosidade Aberta ou Aparente	63
6.2 ANÁLISE DOS DADOS	64
6.2.1 Quanto à Composição Química e Mineralógica	64
6.2.2 Quanto à Absorção de Água e Porosidade	70
6.3 CONCLUSÕES PARCIAIS	75
6.3.1 Quanto à Composição Química e Mineralógica	75
6.3.2 Quanto à Absorção de Água e Porosidade	76
6.4 CONCLUSÃO	77
7 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS ANTIGAS DE CAL	80
7.1 O USO DA CAL NAS CONSTRUÇÕES	81
7.2 ENSAIOS EXECUTADOS	84
7.2.1 Difração de Raios X (DRX)	85

7.2.2	Análise Termogravimétrica (ATG)	86
7.2.3	Análise Petrográfica	87
7.2.4	Reconstituição de Traço	87
7.2.5	Profundidade Carbonatada	88
7.2.6	Determinação do Módulo de Elasticidade (E)	88
7.2.7	Resistência à Compressão	90
7.2.8	Absorção de Água por Capilaridade	91
7.2.9	Absorção Total de água por Imersão	92
7.2.10	Permeabilidade ao Vapor de Água	93
7.3	ANÁLISE DOS DADOS	93
7.3.1	Quanto à Composição Química e Mineralógica	93
7.3.2	Quanto às Características Mecânicas	101
7.3.3	Quanto à Absorção de Água	105
7.4	CONCLUSÕES PARCIAIS	107
7.4.1	Quanto à Composição Química e Mineralógica	107
7.4.2	Quanto às Características Mecânicas	108
7.4.3	Quanto à Absorção de Água	109
7.5	CONCLUSÃO	109
8	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS PARA RESTAURAÇÃO	113
8.1	USO DO METACAULIM NAS ARGAMASSAS À BASE DE CAL	113
8.2	REQUISITOS PARA AS ARGAMASSAS DE RESTAURAÇÃO	115
8.3	ENSAIOS EXECUTADOS	116
8.3.1	Argamassas de Substituição no Estado Plástico	119
8.3.1.1	Determinação da Consistência pela Penetração do Cone	120
8.3.1.2	Determinação da Consistência por Espalhamento	121

8.3.1.3 Retenção de Água por Sucção com Bomba de Vácuo	122
8.3.1.4 Determinação da Massa Volúmica (Densidade)	123
8.3.2 Argamassas de Substituição no Estado Endurecido	124
8.3.2.1 Resistência à Tração na Flexão e Resistência à Compressão	125
8.3.2.2 Retração Linear por Secagem	126
8.3.2.3 Susceptibilidade à Fendilhação	127
8.3.2.4 Densidade de Massa Aparente	129
8.3.2.5 Determinação do Módulo de Elasticidade (E)	129
8.3.2.6 Profundidade Carbonatada	130
8.3.2.7 Determinação do Coeficiente de Absorção de Água por Capilaridade	130
8.3.2.8 Determinação da Absorção Total por Imersão	130
8.4 ANÁLISE DOS DADOS	132
8.4.1 Argamassas de Substituição no Estado Plástico	132
8.4.1.1 Quanto à Consistência da Argamassa	132
8.4.1.2 Quanto à Compactação da Argamassa	134
8.4.2 Argamassas de Substituição no Estado Endurecido	135
8.4.2.1 Quanto às Características Mecânicas	135
8.4.2.2 Quanto às Características Físicas e Químicas	144
8.4.2.3 Quanto à Absorção de Água	147
8.5 CONCLUSÕES PARCIAIS	150
8.5.1 Argamassas de Substituição no Estado Plástico	150
8.5.2 Argamassas de Substituição no Estado Endurecido	151
8.6 CONCLUSÃO	152
9 ESTUDO DO MECANISMO DE ADERÊNCIA ORIGINAL	
 AZULEJO/ARGAMASSA	156
9.1 ENSAIOS EXECUTADOS	156

9.1.1 Área de Aderência da Argamassa no Tardo do Azulejo	157
9.1.2 Avaliação da Extensão de Aderência na Lupa Estereoscópica	157
9.1.3 Avaliação da Microestrutura no Microscópio Eletrônico de Varredura	159
9.1.4 Ensaio de Análise aos Sais	160
9.1.5 Determinação da Resistência de Aderência à Tração	161
9.1.6 Ensaio de Absorção de Água sob Baixa Pressão	163
9.2 ANÁLISE DOS DADOS	164
9.2.1 Quanto à Caracterização Física e Mineralógica	164
9.2.2 Quanto às Características Mecânicas	169
9.2.3 Quanto à Absorção de Água	170
9.3 CONCLUSÕES PARCIAIS	172
9.3.1 Quanto à Caracterização Física e Mineralógica	172
9.3.2 Quanto às Características Mecânicas	173
9.3.3 Quanto à Absorção de Água	173
9.4 CONCLUSÃO	174
10 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS COM CIMENTO PORTLAND	175
10.1 ARGAMASSAS ENSAIADAS	176
10.2 ANÁLISE DOS DADOS	184
10.3 REQUISITOS PARA ARGAMASSAS DE RESTAURAÇÃO	190
10.4 COMPARAÇÃO ENTRE AS ARGAMASSAS ESTUDADAS	192
10.5 CONSEQUÊNCIAS DO USO DO CIMENTO PORTLAND NAS EDIFICAÇÕES ANTIGAS	194
11 RESTAURAÇÃO, IMPORTÂNCIA E NORMAS DA BOA PRÁTICA	197
11.1 CONCEITOS	197
11.2 CUIDADOS NECESSÁRIOS EM UM PROCESSO DE INTERVENÇÃO	198

11.3 IMPORTÂNCIA DA PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO EDIFICADO	200
11.4 QUESTIONÁRIO	201
12 CONCLUSÃO	204
12.1 USO DO CIMENTO EM FACHADAS AZULEJADAS ANTIGAS	204
12.1.1 Argamassas Demasiadamente Resistentes	204
12.1.2 Argamassas Mais Rígidas	205
12.1.3 Argamassas Menos Permeáveis	205
12.1.4 Adição de Sais Solúveis	207
12.1.5 Cristalização de Sais Solúveis	208
12.1.6 Elevada Resistência de Aderência à Tração	209
12.2 FECHAMENTO	209
REFERÊNCIAS	212
ANEXO	220

1 INTRODUÇÃO



Figura 1 – casa da frontaria azulejada, 1865, Santos, Brasil

(fonte: *site* SESC SÃO PAULO¹)

As fachadas externas das residências em Portugal, passaram a ser adornadas com azulejos apenas no século XIX. Segundo alguns historiadores, a novidade surgiu graças aos chamados “Brasileiros”, denominação dada aos portugueses que voltavam para a metrópole após uma temporada morando no Brasil. Essas casas, muitas vezes apresentando novas informações arquitetônicas, além do uso de azulejos nas fachadas (figura 1) eram conhecidas, portanto, como “Casas de Brasileiros”, como comenta Backheuser (2006, p. 14) com relação à cidade do Porto,

Os *Brasileiros* acabaram por ter também uma grande influência na própria paisagem urbana, pois na busca de uma afirmação social, construíram para si casas que ficaram no imaginário português como as famosas “casas de brasileiros” que eram referidas em tom pejorativo como “casas penico” ou “casas de azulejo”. Mas aos poucos, passadas as primeiras impressões, foram caindo no gosto dos portugueses e se hoje grande parte considerável da cidade está coberta de azulejos, costuma-se atribuir esse hábito à influência dos *Brasileiros*.

No Brasil, sobretudo no litoral nordestino, os azulejos eram encomendados de Portugal por famílias lusitanas abastadas, acostumadas com o uso desse material no interior das casas. A utilização na parte externa da edificação decorreu da necessidade de se resolver questões como conforto térmico e maior praticidade na limpeza, além da função estética, segundo Japiassú (2011, p. 47) citando Simões (1965), “os construtores brasileiros desde o século XVIII já

¹ <http://bienaldanca2013.sescsp.org.br/locais-das-apresentacoes/>

reconheciam no uso do azulejo uma forma de valorizar esteticamente as fachadas e, principalmente, de conservar e impermeabilizar a edificação contra as ações do clima úmido e quente, típicas do país”. Também Tinoco (2010, p. 11) comenta que,

[...] é interessante observar que, no caso brasileiro, a despeito da grande influência portuguesa, o desenvolvimento da azulejaria não se deve unicamente à dependência cultural, econômica e política de Portugal, mas a aspectos funcionais, sobretudo, por causa das chuvas frequentes e do calor constante, principalmente no litoral. Em razão de suas características o azulejo tornou as residências mais frescas e reduziu os custos de conservação e manutenção, já que era refratário à ação do sol e impedia a corrosão das paredes pela umidade.

As técnicas construtivas empregadas no Brasil, durante muito tempo, consistiam na experiência portuguesa adaptada a realidade local com relação ao clima e as matérias-primas. Sendo assim, a prática corrente em Portugal do uso de argamassas de cal, tanto na sua composição quanto no método empregado para sua utilização, foi largamente utilizada no país, como comprova Santiago (2012, p. 04) a partir de pesquisas feitas nos Arquivos Nacionais da Torre do Tombo, Portugal, do ano de 1551,

O uso da argamassa de cal no Brasil antecede a fundação da Cidade de Salvador, em 1549, pois vem desde a época das Capitânicas Hereditárias. Mas, é a partir da criação da nova Capital que aparece a documentação de época, na qual estão listados os profissionais que teriam vindo de Portugal para a construção da Cidade. Nela consta, dentre outros, além dos homens de armas necessários à defesa do local, carpinteiros, taapeiros, telheiros e caeiros.

Também os azulejos sofreram essa influência quando passaram a ser fabricados no Brasil, apresentando composição mineralógica e porosidade semelhantes aos de Portugal produzidos no mesmo período.

Como é possível constatar do exposto acima, edificações antigas são representativas da história de uma região e de seu povo. Estas contribuem para a transmissão de conhecimento através dos tempos, em diversas áreas de interesse, conhecimento esse que não deve ser negligenciado, apenas por estar em desuso.

O entendimento das técnicas antigas e de como se pensava quanto à construção, por exemplo, pode ser muito útil no desenvolvimento de novos métodos de construir e de projetar hoje em dia. Além disso, é fundamental ter o domínio sobre os materiais utilizados e da forma como estes foram empregados durante a obra de edificação de interesse histórico, pois apenas assim será possível restaurá-lo corretamente, a fim de que se mantenha íntegro com o passar do tempo.

O presente trabalho descreve, portanto, a importância da conservação e manutenção correta de prédios antigos, especificamente as fachadas compostas por azulejos portugueses ou brasileiros de inspiração portuguesa, produzidos no período que corresponde ao final do século XIX e início do século XX e que foram assentados em construções no Brasil, sob influência dos métodos construtivos utilizados na época, em Portugal.

Este material foi idealizado com o intuito de alertar quanto aos prejuízos, muitas vezes permanentes ao patrimônio histórico, do uso indevido de materiais e técnicas construtivas sem o conhecimento prévio da história da edificação durante a obra de construção. Vários exemplos podem ser vistos pelo país, das consequências desastrosas dessas falsas obras de restauração, executadas sem nenhum comprometimento com a metodologia e características dos materiais empregados no passado. Como ilustração dessa atitude e foco desse trabalho, está o uso de argamassas de assentamento compostas por cimento Portland em obras de manutenção das fachadas azulejadas antigas ao invés do uso de argamassas à base de cal, compatíveis com às originais.

No desenvolvimento deste trabalho, serão demonstradas as diferenças porométricas entre os azulejos em questão, os fabricados atualmente para reposição e os azulejos utilizados em construções atuais, com o intuito de esclarecer o porquê da necessidade da utilização de técnicas e materiais específicos para o reassentamento dos azulejos antigos. Também será apresentado um comparativo das características físicas e de trabalhabilidade entre as argamassas antigas de cal, argamassas à base de cal utilizadas em restaurações e as argamassas tradicionais de cimento ou mistas com cimento. Nessa etapa, pretende-se confrontar e analisar os ensaios já realizados por profissionais gabaritados em laboratórios de Universidades tanto no Brasil quanto em Portugal.

Na sequência serão descritas as consequências para a integridade dos componentes da fachada azulejada da aplicação das argamassas aqui analisadas, através da investigação sobre as questões mecânicas, químicas e físicas dos materiais. Dessa maneira, demonstrar-se-á a necessidade do conhecimento prévio dos materiais originais utilizados no prédio e a importância do uso, neste caso, de argamassas de substituição à base de cal ao invés de argamassas compostas por cimento, objetivo deste trabalho.

As normas que devem ser seguidas em uma obra de restauração, segundo o IPHAN, Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, também serão descritas com o intuito de

corroborar sobre a necessidade do entendimento acerca dos materiais utilizados na época da construção da obra histórica e do uso, na restauração, de produtos compatíveis com os mesmos.

Por fim, o trabalho visa comprovar, com base nos dados e análises feitas e que compõem o corpo desse material, que em um projeto de restauração de fachadas brasileiras antigas, compostas por azulejos produzidos em Portugal e no Brasil, no final do século XIX e início do século XX, é imperiosa a necessidade do uso de argamassas de assentamento à base de cal cujas características sejam similares aos materiais empregados originalmente.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

Os rumos do desenvolvimento deste material estão explicitados a seguir.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: na restauração de fachadas revestidas por azulejos fabricados no final do século XIX e início do século XX, por que não é recomendável o uso de argamassa de assentamento composta por cimento Portland?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é comprovar, através da análise de referências bibliográficas, a necessidade do uso de argamassas à base de cal na restauração de fachadas compostas por azulejos fabricados no final do século XIX e início do século XX, em detrimento ao uso de argamassas de cimento ou mistas com cimento.

2.2.2 Objetivo secundário

O objetivo secundário do trabalho é demonstrar a necessidade do conhecimento das características dos materiais originais utilizados no prédio de interesse histórico, visando que na obra de restauração, sejam empregados elementos de composição e trabalhabilidade similares aos da época.

2.3 HIPÓTESE

O uso de argamassas de assentamento cuja composição possua cimento Portland, na restauração de fachadas azulejadas antigas provoca danos quiçá irreparáveis à integridade da fachada e de seus componentes.

2.4 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que toda a bibliografia consultada e aqui analisada, utilizada no desenvolvimento deste material, é válida e pertinente ao tema.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à análise de publicações e ensaios que abordem os parâmetros necessários para a realização de obras de restauração eficazes, com foco nas fachadas erguidas no Brasil, compostas por azulejos oriundos de fabricas portuguesas e brasileiras, produzidos no final do século XIX e início do século XX.

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a. dificuldade de obtenção de documentos técnicos sobre as práticas e materiais construtivos usuais na época analisada;
- b. reduzido número de estudos realizados sobre o tema em questão.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado de acordo com as etapas apresentadas a seguir, que estão dispostas na figura 2 e descritas nos próximos parágrafos:

- a. pesquisa bibliográfica;
- b. análise do tema com profissionais da área;
- c. discussão a respeito das características de grupos distintos de azulejos;
- d. investigação sobre as propriedades das argamassas à base de cal e compostas por cimento Portland;
- e. análise das consequências do assentamento dos azulejos antigos com as argamassas analisadas;
- f. panorama geral sobre o conceito de restauração e as regras que a definem;
- g. conclusão, comprovando o porquê do uso de argamassas de assentamento à base de cal em detrimento das compostas por cimento Portland.



Figura 2 – diagrama esquemático do delineamento do trabalho

(fonte elaborada pela autora)

Inicialmente, executou-se uma extensa pesquisa bibliográfica nas áreas de arquitetura, engenharia e história, por publicações tanto no Brasil quanto na Espanha e Portugal, buscando material suficiente que sustentasse a escolha do tema.

Em seguida, partiu-se para a análise do assunto com profissionais atuantes na área, tanto em Portugal quanto no Brasil, a fim de se conhecer todas as possíveis variantes relacionadas ao tema, de maneira a ser viável abordá-las ao longo do trabalho.

A partir das informações coletadas através da pesquisa bibliográfica e dos profissionais consultados, tornou-se possível a elaboração do corpo deste trabalho.

A primeira parte discorre sobre as características físicas e químicas de três grupos de amostras de azulejos: os azulejos antigos produzidos no final do século XIX e início do século XX, os azulejos utilizados como réplicas dos antigos e os azulejos novos, aplicados em fachadas recém erguidas.

No capítulo posterior, aborda-se as características presentes nas argamassas antigas de cal, nas argamassas utilizadas em obras de restauração e nas argamassas contendo cimento Portland.

Finalmente, encerra-se o trabalho esclarecendo, mediante as análises realizadas nos capítulos anteriores, a questão tema: Por que é importante o uso de argamassa de cal na restauração de fachadas compostas por azulejos fabricados no final do século XIX e início do século XIX?

3 AZULEJOS DE FACHADA, UM PANORAMA A RESPEITO

Neste capítulo apresenta-se, de forma geral, o azulejo quanto a sua origem, desenvolvimento técnico e artístico até o período de uso na composição em fachadas. Busca-se, desta forma, um maior entendimento a respeito desta peça cerâmica que, juntamente com o suporte e a argamassa de assentamento, compõem as fachadas azulejadas.

3.1 BREVE HISTÓRICO DOS AZULEJOS

3.1.1 A Origem

Segundo afirmam alguns historiadores, a palavra *azulejo* tem origem no árabe *azzelij* (ou *al zuleycha*, *al zuléija*, *al zulaiju*, *al zulaco*), que significa “pequena pedra polida”, termo usado para designar o mosaico bizantino do Oriente Próximo². Na figura 3 tem-se um modelo de mosaico bizantino datado de 547 a.C.

As mais antigas peças datam de 5 mil anos a.C. e foram encontradas em escavações no Egito. Além disso, de acordo com Wanderley (2006, p. 13), na Mesopotâmia, os povos babilônicos “[...] fabricavam tijolos com resistência e durabilidade e aperfeiçoaram a técnica da vitrificação. Desenvolveram a técnica de fabricação de azulejos, com os quais revestiam suas paredes de tijolos. Assim as protegiam, fortaleciam e embelezavam.”.

Gradativamente, o conhecimento sobre a técnica do azulejo foi se aprimorando e influenciando outros povos, antes mesmo de chegar à Península Ibérica,

Os egípcios das primeiras dinastias, cerca de cinco mil anos a.C., já usavam azulejos murais [...]. Os assírios e babilônios do século XIII a.C. ao século VI d.C., fabricavam azulejos e tijolos pintados com modelos de figuras coloridas com esmaltes. Os persas copiaram esses processos de 221 a.C. a 640 d.C. Os árabes, em 632 da nossa era, adotavam também tais métodos, ampliando-os ainda com uma nova técnica que é a aplicação do lustre, de aspecto metálico e de diferentes cores. No século XIV d.C., porcelanas chinesas monocromáticas, chamadas "céladons", e as azuis e brancas, chegam em grande quantidade à Pérsia e ao Oriente Próximo. Isto fez com que se tornasse comum copiar os modelos chineses, os oleiros islâmicos adotando, também, a técnica de aplicar o azul sob o vidrado, principalmente porque o azul de cobalto era encontrado no Oriente Médio, de onde era exportado para a China. Egito (Fosfat),

² Oriente Próximo corresponde a região conhecida historicamente como Mesopotâmia, localizada entre os rios Tigre e Eufrates. (NOTA DA AUTORA)

Síria (Damasco) e Turquia (Izmik e Kutaya) seguiram a moda do azul e branco, sendo que as inúmeras fabricas turcas também produziram belas peças policromadas. (A RELIQUIA, 2001a).

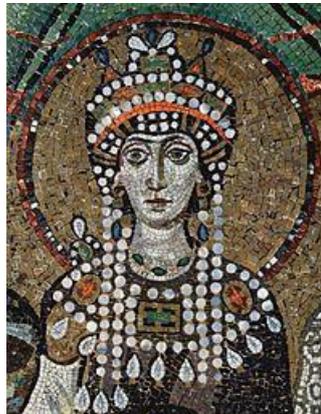


Figura 3 – mosaico bizantino, 547 a.C., Basílica de San Vitale, Ravenna, Itália

(fonte: *site* Wikipedia, a Enciclopédia Livre³)

3.1.2 Na Península Ibérica

A partir do ano 711 d.C., “[...] tropas islâmicas oriundas do Norte de África, [...], penetraram na península Ibérica, e venceram [...], o último rei dos Visigodos da Hispânia, [...]. Nos séculos seguintes, os muçulmanos foram alargando as suas conquistas na península, assenhoreando-se do território designado em língua árabe como al-Andalus, [...]” (*site* Wikipedia, a Enciclopédia Livre). Permaneceram na região por quase 800 anos, levando conhecimento aos povos da Península sobre vários aspectos, inclusive na produção e uso do azulejo:

O estilo árabe desenvolveu-se no território europeu a partir do século VIII até o X, e depois até o século XV. [...]. Na Espanha formaram diversas escolas artísticas. No começo a decoração se limitava a árvores, flores, objetos e versetos contendo pensamentos e sentenças do alcorão, uma decoração chamada de epigráfica. Em seguida passaram a usar muito as combinações geométricas e os arranjos conhecidos por "arabescos". Com a reconquista do território pelos católicos, muitos artífices árabes preferiram ficar e passaram a combinar os elementos de arte cristã, românica e gótica com os árabes, criando um novo estilo chamado mudéjar (A RELIQUIA, 2001a).

A Espanha, através das cidades de Sevilha, Granada, Manises, Valência, Málaga e Toledo, passa a ser o grande polo produtor de azulejos no estilo mudéjar ou hispano-mourisco na Península Ibérica até o século XV. O maior centro de fabricação desta azulejaria foi Sevilha,

³ <https://pt.wikipedia.org/wiki/Azulejo>

na região da Andaluzia. A figura 4 mostra a produção nos dias de hoje, de um azulejo através da técnica manual do alicatado, em Andaluzia.



Figura 4 – confecção do azulejo alicatado⁴ na Andaluzia, Espanha

(fonte: *blog AVENTAR*⁵)

As primeiras utilizações conhecidas do azulejo em Portugal, como revestimento de paredes, ocorreram de forma esporádica na segunda metade dos anos de 1400, com azulejos hispano-mouriscos importados de Sevilha, pelo rei D. Manuel I e pelo bispo de Coimbra, conforme o texto seguinte, disponível no *site* do Museu Nacional do Azulejo⁶ (2013):

As composições cerâmicas parietais utilizadas na Andaluzia devem ter impressionado tão fortemente o rei D. Manuel I (1469-1521), durante suas visitas a Castela que, por sua iniciativa, chegou ao porto de Belém, em Lisboa, no ano de 1508, uma enorme encomenda de 10146 azulejos hispano-mouriscos, destinados à decoração do seu palácio em Sintra, em cujas salas se aplicou grande variedade de padrões e técnicas [...]

Outra grande encomenda de azulejos hispano-mouriscos produzidos em Sevilha foi a do bispo de Coimbra, D. Jorge de Almeida, em 1503, que com eles fez revestir integralmente a catedral daquela cidade, edifício românico cujo interior se transformou completamente com o revestimento cerâmico integral das paredes e colunas, simulando a presença de tecidos e vãos arquitetônicos.

Conforme Amaral (2015, p. 12), “Apenas na transição para o século XVI é que o azulejo, vindo maioritariamente de Sevilha, se expandiu verdadeiramente dentro do país.”.

⁴ Alicatado, “técnica para revestimentos em que se agrupam pedaços de cerâmica vidrada cortados em diferentes tamanhos e formas geométricas com a ajuda de uma turquez. Cada pedaço é monocromático e faz parte de um conjunto de várias cores que pode ser mais ou menos complexo, semelhante ao trabalho com mosaico. Esta técnica esteve em voga nos séculos XVI e XVII, mas pela sua morosidade acabou por ser substituído por outras técnicas posteriores.” (MUSEU NACIONAL DO AZULEJO, 2013).

⁵ <https://aventar.eu/2011/06/29/o-azulejo-andalus/>

⁶ <http://www.museudoazulejo.pt/pt-PT/Recursos/HistAzulejo/ContentList.aspx>

“Em meados do século XVI, os azulejos hispano-mouriscos (figura 5), caracterizados pelas técnicas da corda-seca⁷ e aresta⁸, caem em desuso em Portugal e são substituídos por azulejos com decoração diretamente pintada sobre o vidro, em técnica de majólica⁹ ou faiança¹⁰.” (MUSEU NACIONAL DO AZULEJO¹¹, 2013).



Figura 5 – azulejo hispano-mourisco do século XVI, confeccionado com as técnicas da corda-seca e aresta

(fonte: *site* AZULEJARIA PORTUGUESA D'OREY TILES¹²)

Para Gomes (2011, p. 42), “este novo processo, permitiu a criação de imagens narrativas coloridas, aplicadas a pincel, sobre uma superfície lisa, aproximando-se assim a azulejaria da pintura. Abre-se um novo horizonte aos ceramistas, agora ‘mais pintores que oleiros’.”

A técnica de majólica, desenvolvida por ceramistas italianos, “[...], permitiu alargar a realização de composições com diversas figurações, historiadas e decorativas. Ceramistas italianos fixaram-se na região da Flandres e divulgaram os motivos decorativos maneiristas e os temas da Antiguidade Clássica.” (INSTITUTO CAMÕES¹³, 2000). Alguns ceramistas italianos também se fixaram na Espanha, “[...] estando assim a técnica difundida nos dois pontos de comércio azulejar português da época: Espanha e Flandres.” (AMARAL, 2015, p. 25). É

⁷ Corda-seca, “era uma técnica utilizada no final do século XV e início do XVI nos azulejos hispano-mouriscos, que consiste em sulcar os motivos decorativos com corda embebida em óleo de linhaça e óxido de manganês, nas placas de barro ainda úmidas, evitando a posterior mistura entre esmaltes na fase da pintura e na segunda cozedura.” (MUSEU NACIONAL DO AZULEJO, 2013).

⁸ Aresta, “técnica do período da corda-seca em que a separação das cores é feita levantando arestas (pequenos muros) na peça, que surgem ao pressionar o negativo do padrão (molde de madeira ou metal) no barro ainda macio.” (MUSEU NACIONAL DO AZULEJO, 2013).

⁹ Majólica, “técnica vinda da Itália e introduzida na Península Ibérica a meados do século XVI. Veio substituir a pintura sobre a peça já cozida, a qual era depois vidrada.” (MUSEU NACIONAL DO AZULEJO, 2013).

¹⁰ O termo faiança, “utilizado a partir do século XVII, tem origem no centro italiano Faenza onde era produzida esta cerâmica.” (MUSEU NACIONAL DO AZULEJO, 2013).

¹¹ <http://www.museudoazulejo.pt/Data/Documents/Cronologia%20do%20Azulejo%20em%20Portugal.pdf>

¹² <http://doreytiles.pt/wp/?p=5086>

¹³ <http://cvc.instituto-camoes.pt/conhecer/exposicoes-virtuais/a-arte-do-azulejo-em-portugal.html>

possível observar na figura 6, um painel de azulejos majólicicos, produzido em Flandres e que adorna as paredes de um palacete em Portugal.

Como descreve Gomes (2011, p. 47), é neste período que Portugal inicia sua produção azulejar:

[...] foi nos meados do século XVI, que os chamados “Fornos de Veneza” ou “Fornos de Pisa”, capazes de cozer esmaltes opacos, se instalam em Portugal. Logo se denota um desenvolvimento da produção portuguesa de azulejos. [...], o azulejo português consegue alcançar uma pintura vistosa, com resultados muito próximos da pintura a óleo, o que atesta um excelente domínio no desenho das composições estéticas, compreendendo de uma forma livre, a linguagem maneirista flamenga. É de notar também a notável qualidade de fabricação destes azulejos, demonstradores de um pleno conhecimento das técnicas ítalo-flamengos da “Majólica”.



Figura 6 – painel de azulejos majólicico do ano de 1558, produzidos em Flandres, importados por Portugal

(fonte: *site* REDE DE INVESTIGAÇÃO DO AZULEJO¹⁴)

3.1.3 A Azulejaria Portuguesa

Portugal iniciou sua produção de azulejos a partir da técnica majólica, “[...] da qual a capela de São Roque, na igreja jesuítica com a mesma invocação, é um dos melhores exemplos, assinado e datado: Francisco de Matos, 1584.” (*site* REDE DE INVESTIGAÇÃO EM AZULEJO, 2016).

Entretanto, consolidado o gosto pelo revestimento cerâmico em igrejas e palácios, “[...] era dispendiosa a encomenda de grandes composições únicas, adequadas a cada espaço, optando-se, de modo mais frequente, por azulejos de repetição.” (*site* INSTITUTO CAMÕES¹⁵, 2000).

[...] entre finais do século XVI e inícios do XVII realizaram-se composições de enxaquetados, azulejos de cor lisa que, na sua alternância, iam criando malhas decorativas nas paredes. Apesar de serem baratos os azulejos, a sua aplicação era complexa e lenta, fator que tornava o processo dispendioso, levando ao seu gradual abandono.

¹⁴ <http://redeazulejo.fl.ul.pt/timeline/timeline-pt.html>

¹⁵ <http://cvc.instituto-camoes.pt/conhecer/exposicoes-virtuais/a-arte-do-azulejo-em-portugal.html>

Azulejos de padrão, produzidos em grande quantidade e de fácil aplicação, vieram então a ser utilizados primeiro em módulos de repetição com 232 azulejos, depois em módulos maiores que atingiram 12312 azulejos, geradores de fortes ritmos em diagonal.

Em qualquer destas utilizações de azulejos enxaquetados e de padrão, era essencial o uso de cercaduras e barras para uma eficaz integração nos contornos das arquiteturas. (*site INSTITUTO CAMÕES*¹⁶, 2000).



Figura 7 – parede da Capela de São Miguel, na Universidade de Coimbra, Portugal, revestida com composição em azulejos padrão e cercaduras, séc. XVII

(fonte: *site REDE DE INVESTIGAÇÃO EM AZULEJO*¹⁷)

Azulejos de padrão (figura 7), representando motivos geométricos, vegetais e florais, lembravam antigas tapeçarias, por esse motivo, ficaram conhecidos também como *tapete*. “Existiam também frontais de altar, simulando tecidos de inspiração oriental, com representações exóticas e composições de brutesco¹⁸.” (*site REDE DE INVESTIGAÇÃO EM AZULEJO*¹⁹, 2016).

O século XVIII dá início, em Portugal, ao período conhecido como “O Ciclo dos Mestres”,

Já no final do século XVII, o excesso formal e cromático do tapete de padronagem deu lugar a um azulejo de duas cores, azul e branco, que conjugou referências à louça tradicional chinesa e aos azulejos holandeses de figura avulsa²⁰ que eram importados, em grandes quantidades, de Delft e Roterdã. A produção holandesa teve sucesso em Portugal devido à sua superioridade técnica, acabando por despertar a consciência

¹⁶ <http://cvc.instituto-camoes.pt/conhecer/exposicoes-virtuais/a-arte-do-azulejo-em-portugal.html>

¹⁷ <http://redeazulejo.fl.ul.pt/timeline/timeline-pt.html>

¹⁸ Brutesco, “diz-se de ou obra de arte parietal, geralmente decorativa (de pintura, desenho, escultura, talha, tapeçaria etc.), que represente objetos e seres da natureza, reais ou mitológicos: sátiros, esfinges, cupidos, animais, plantas, frutos, estruturas arquitetônicas, pedras etc”. (*site Bem Falar*)

¹⁹ <http://redeazulejo.fl.ul.pt/timeline/timeline-pt.html>

²⁰ “O azulejo de figura avulsa é um tipo de azulejo que contém em si mesmo o motivo principal – flores, frutos, animais, figuras humanas, barcos (...) – geralmente ornado nos cantos.” (Amaral, 2015, p. 31).

nacional para a necessidade de melhorar a qualidade dos azulejos produzidos no país. Para satisfazer essa vontade não era suficiente, no entanto, o trabalho dos artesões e por isso foram contratados artistas com formação e experiência em pintura sobre tela para pintarem azulejos. Esta mudança de gosto conduziu àquela que é, provavelmente, a fase áurea da azulejaria portuguesa – o *Ciclo dos Mestres*, na qual o azulejo historiado teve a sua máxima representatividade (Amaral, 2015, p. 31).



Figura 8 – azulejo historiado na Igreja dos Lóios, Évora, Portugal, do ano de 1711

(fonte: AMARAL, 2015, p. 31)

Segundo Amaral (2015, p. 18), os sessenta anos que compõem o período do azulejo historiado (figura 8), de 1690 a 1750, podem ser divididos em dois ciclos, “o já referido *Ciclo dos Mestres* – período de maior qualidade e que termina por volta de 1725; e a *Grande Produção*, que abrangeu o segundo quartel do século.”.

A *Grande Produção*, também conhecida como *Grande Produção Joanina* é o período caracterizado pelo grande número de encomendas que recebe Portugal, inclusive vindas do Brasil. Provavelmente devido a esse aumento da demanda, a qualidade diminuiu, além do que, também como reflexo da necessidade de atender aos pedidos crescentes, os azulejos passaram a apresentar pinturas mais simples e na sequência a repetição nas figuras. Interessante notar que “[...] a par dos temas religiosos encomendados pela Igreja, utilizam-se agora para os palácios mais cenas bucólicas, mitológicas, de caça e guerreiras ou relacionadas com um dia a dia cortesão, bem patente nas chamadas figuras de convite²¹ colocadas nas entradas.” (*site*

²¹ Figuras de Convite: “[...] esta figura representa uma pessoa (lacaio, dama, guerreiro, etc.) trajado a rigor e posicionado em locais de entrada de uma habitação nobre (átrio, patamar de escada etc.) em gesto de boas-vindas, como que a receber as visitas que chegam. [...] produzida em tamanho real com o contorno recortado e geralmente crescendo a partir de um silhar.” (*site* MUSEU NACIONAL DO AZULEJO, 2013).

INSTITUTO CAMÕES²², 2000). Representado na figura 9, um exemplo de figura de convite encontrado em Lisboa.



Figura 9 – figura de convite feminina, Lisboa, Portugal, 2ª metade do século XVIII

(fonte: *site* MUSEU NACIONAL DO AZULEJO²³)

Em meados do século XVIII, a moda mais ao estilo francês, conhecida como Rococó, passa a influenciar o gosto português até aproximadamente o ano de 1790. Considera-se a presença desse estilo como temática azulejar em duas fases,

[...] na primeira, anterior ao terremoto de Lisboa de 1755, introduziu-se a cor amarela em combinação com o azul e o branco dominantes nas últimas décadas. As barras que contornavam os painéis tornaram-se mais leves, assim como as volutas que enquadravam as composições. Com o terremoto, grande parte da cidade ficou destruída, tornando-se essencial uma rápida produção de azulejos, e em grandes quantidades para a reconstrução da capital. A nova fase de produção, [...] contou então com azulejos de padrão simples, com ritmos oblíquos e cores discretas, e facilmente reproduzíveis – são os chamados azulejos pombalinos [...] (Amaral, 2015, p. 37).

Progressivamente, o estilo rococó foi ressurgindo com suas representações figurativas, trazendo consigo uma inovação: o uso da cor roxa, graças à adição do manganês. Como ressalta Amaral (2015, p. 19), “o verde e o amarelo foram também frequentes na paleta rococó, e eram geralmente aplicados nos motivos decorativos.”

A partir de 1790 até quase a metade do século XIX, os azulejos passam a complementar pinturas decorativas nas paredes, sendo colocados na parte inferior das mesmas. É o estilo Neoclássico, “[...] estes narram histórias de ascensões sociais, representam figuras elegantes da época,

²² <http://cvc.instituto-camoes.pt/conhecer/exposicoes-virtuais/a-arte-do-azulejo-em-portugal.html>

²³ <http://www.museudoazulejo.pt/pt-PT/ExposAct/ExpoPerm/ContentDetail.aspx?id=902>

enquanto a Igreja não abandona os tradicionais ciclos religiosos e a nobreza os temas anteriormente preferidos.” (site INSTITUTO CAMÕES²⁴, 2000).

No início do século XIX, a série de conflitos iniciadas pelas invasões francesas (1807-1811) ao território português e a guerra civil entre absolutistas e liberais (1832-1834), acabaram paralisando a produção local de azulejos. Apenas na segunda metade desse século, graças aos emigrantes portugueses vindos do Brasil, conhecidos como “brasileiros”, é que os azulejos voltam a ser produzidos, mas agora nas fachadas, como escreve Amaral, (2015, p. 39)

[...] essa retomada terá sido feita em grande parte por influência dos emigrantes portugueses no Brasil, que regressavam na década de 40 para Portugal, trazendo consigo um novo gosto: o azulejo de fachada. Este novo tipo de azulejo, que inicialmente teve fraca adesão no país por se considerar de mau gosto, era já usado no Brasil pelos emigrantes portugueses, pelas suas qualidades plásticas, mas sobretudo construtivas. Quando se instalaram no Porto, de onde eram maioritariamente oriundos, os “brasileiros” compravam velhas fábricas de cerâmica, [...] e revestiram o exterior de suas próprias casas com o novo azulejo. Com o passar do tempo, o exemplo gerou novos gostos que irradiaram pela cidade e pelo país inteiro, ao ponto de no fim do século XIX quase todas as casas que se construía[m] serem azulejadas.

O azulejo de padrão (figura 10), de menor custo, “[...] cobre milhares de fachadas, produzido por fábricas de Lisboa [...] do Porto e Gaia [...], as fachadas com azulejo de padrão e cercaduras delimitando as portas e janelas, são elementos fundamentais, [...] da identidade urbana em Portugal [...].” (site INSTITUTO CAMÕES²⁵, 2000).



Figura 10 – fachadas azulejadas na cidade do Porto, Portugal

(fonte: *blog YES, WE DO*²⁶)

²⁴ <http://cvc.instituto-camoes.pt/conhecer/exposicoes-virtuais/a-arte-do-azulejo-em-portugal.html>

²⁵ <http://cvc.instituto-camoes.pt/conhecer/exposicoes-virtuais/a-arte-do-azulejo-em-portugal.html>

²⁶ <http://www.yeswedophotography.com/papo-pessoal/muito-alem-de-marias-e-manueis/>

3.1.4 Em terras Brasileiras

Neste trecho do trabalho, no qual será abordada a história dos azulejos no Brasil até o seu uso nas fachadas, servirá como referência o precioso trabalho efetuado pelo historiador português João Miguel dos Santos Simões, registrado no exemplar de número 14 do ano de 1959, da Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional do Ministério de Educação e Cultura, do estado do Rio de Janeiro.

Nas suas primeiras considerações, o autor informa que o possível primeiro registro da azulejaria no Brasil ocorreu nos anos de 1620 a 1640 com o Convento de Santo Amaro-o-Velho conhecido por Santo Amaro de Água-Fria, do Engenho Frágoso em Olinda, recolhidos depois ao Museu Regional de Olinda.

Até o século XVIII, apenas locais religiosos como conventos e igrejas eram revestidos por azulejos. Simões (1959, p. 12) destaca que a maneira como se empregava o azulejo era similar ao que se fazia em Portugal: “[...], sem inovações, antes parecendo executados pelos mesmos decoradores e artesãos; agrupamentos de padronagem, limitação por barras e frisos, com cantos próprios, contornamento dos acidentes da arquitetura, rigorosa observação de escala e proporções espaciais.”.

Durante a segunda metade do século XVII, conforme o texto da Revista do Patrimônio Artístico e Cultural, intensifica-se a construção de engenhos, sobrados e palácios, entretanto estas edificações não recebem revestimentos em azulejos, ainda que os mesmos continuem vindo da metrópole.

Nos anos que se seguem a 1680, o autor chama atenção para o “sincronismo perfeito” entre a metrópole e sua colônia com relação aos azulejos, pois é neste tempo que a policromia dos modelos no Brasil perde espaço para as peças em azul e branco como em Portugal, “[...] O exemplo mais notável, e, certamente dos mais notáveis do mundo português, é o revestimento da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres²⁷, nos Montes Guararapes, próximo ao Recife, verdadeiro altar da Pátria Brasileira [...]” (SIMÕES, 1959, p. 13).

²⁷ A Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres, cujo início das obras se deu no ano de 1680, possui em torno de 13000 azulejos encomendados de Lisboa, em 1790. (*site* Patrimônio Espiritual)

A igreja de Nossa Senhora dos Prazeres, que tanto encantou o historiador português, pode ser apreciada na figura 11.



Figura 11 – igreja de Nossa Senhora dos Prazeres, Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil

(fonte: *site VIAGEM E VIAGEM*²⁸)

Também é a partir de 1680 que os revestimentos cerâmicos passam a figurar nas obras laicas, tanto aqui no Brasil quanto em terras lusitanas. Entretanto, o período de transição entre o século XVII e o século XVIII é, segundo Simões (1959, p. 13),

[...] aquele que mais e melhor atesta o favor que o azulejo mereceu, e que faz com que no Brasil persistam exemplares notáveis por extremamente raros. Como paradigma dessa fase evolutiva estão os extraordinários revestimentos do antigo solar do Saldanha²⁹, em Salvador, o mais notável exemplar de arquitetura civil que me foi dado ver em território brasileiro. Monumento de invulgar importância, merecedor mais do que qualquer outro de excepcionais cuidados de conservação, reintegração e dignificação [...]

A figura 12 corresponde ao registro fotográfico do próprio historiador Simões, na ocasião de sua visita ao Solar do Saldanha em Salvador, na década de 1950.

²⁸ <http://viagemeviajem.com.br/igreja-nossa-senhora-dos-prazeres-dos-montes-guararapes-jaboatao-dos-guararapes/>

²⁹ Solar do Saldanha, também chamado Palácio Saldanha, é um importante edifício colonial situado na zona histórica do Pelourinho, na cidade de Salvador da Bahia, no Brasil. (*site Wikipedia*)

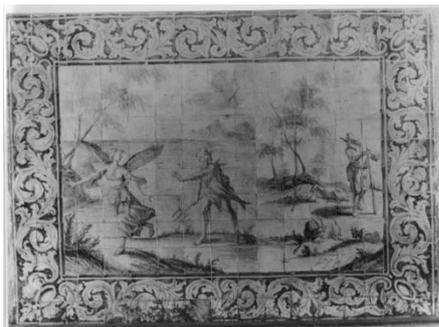


Figura 12 – painel em azulejo do Palácio do Saldanha³⁰, séculos XVII a XVIII, Salvador, Bahia, Brasil

(fonte: *homepage FUNDAÇÃO CALOUSTE GULBENKIAN*³¹)

No percurso do século XVIII, o autor descreve que todas as expressões artísticas azulejares, foram representadas com maestria na então colônia, destacando que “[...] o núcleo franciscano da “Boa Terra” da Bahia é, depois do de São Vicente-de-Fora, de Lisboa, o mais vasto repositório de azulejo português existente sob um mesmo teto [...].” (SIMÕES, 1959, p. 14). Um dos exemplos da coleção de azulejos da Ordem Terceira de São Francisco está ilustrado na figura 13.

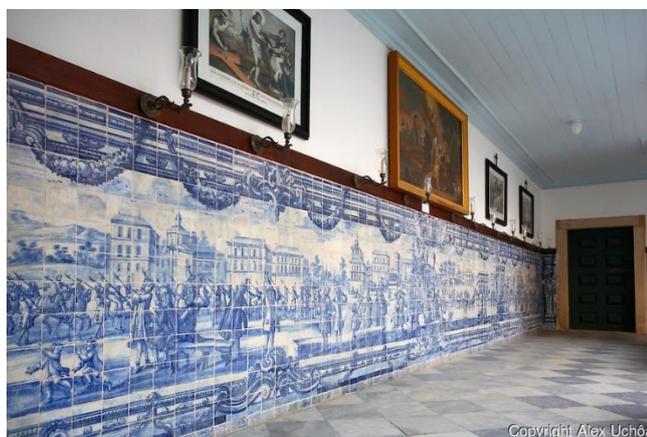


Figura 13 – painel de azulejos na Igreja da Ordem Terceira de São Francisco, 1737, Salvador, Bahia, Brasil

(fonte: *blog ALEX UCHÔA*³²)

O autor descreve também que felizmente, esse período “joanino” da azulejaria portuguesa se encontra muito bem representado desde a Paraíba até o Rio de Janeiro e que seria tarefa muito

³⁰ Na década de 1960, o Palácio sofreu um grande incêndio que destruiu o seu interior. Essa foto, do acervo do próprio Simões, é um dos poucos registros dos azulejos que lá existiam (NOTA DA AUTORA).

³¹ <http://www.biblartepac.gulbenkian.pt/>

³² http://alexuchoa.photoshelter.com/img-show?&_bqG=55&_bqH=eJzznMtjyg3cY8MC7N09nWtCg7WdYkPCnYO8vC1MjQ2tzI0MABhIOkZ7xLsHO_o52JbogZm2yZnlBYIZ2gDeaHBrkHxni62oSCViWa5ZVmvVrpEulSZq8Y7OIbbFqYIAdQB83h_Q&GI_ID=

difícil enumerar os seus belos exemplos. Além disso, Simões (1949, p. 14) comenta sobre o cuidado dispensado na escolha e colocação dos azulejos nas edificações brasileiras:

Em todos os casos é bem patente a preocupação de instalar o melhor que havia, conforme com a tradição decorativa mais ortodoxa. Em nenhum caso me foi dado observar qualquer desvio ou tendência de modismo local, antes se observa sempre que os azulejos eram encomendados propositadamente para os locais a que se destinavam, com cópia de detalhes que permitiam o seu perfeito ajustamento à arquitetura.

No período após o terremoto de Lisboa em 1755, o azulejo vai ganhando formas decorativas concheadas e com várias cores. É o estilo rococó que, conforme o texto de Simões (1949, p. 14), também pode ser visto “[...] por todo o Brasil do Vice-reinado, alguns não só de grande beleza como em impecável estado de conservação [...]”.

Aproximando-se do século XVIII, quando o estilo de azulejos passa do rococó para o neoclássico, verifica-se que o hábito de revestir paredes com peças cerâmicas se consolida em terras brasileiras a exemplo do que já acontecia em Portugal. O texto destaca “[...] a Igreja Nossa Senhora da Corrente, em Penedo (Alagoas) e destes o Solar que foi do Conde dos Arcos, em Salvador [...]” (SIMÕES, 1949, p. 15).

Na figura 14, uma das paredes azulejadas do interior do Solar do Conde dos Arcos, mencionada pelo autor em seu texto.



Figura 14 – palácio Conde dos Arcos³³, azulejos de 1820/30, Salvador, Bahia, Brasil

(fonte: *blog* ALEX UCHOA³⁴)

³³ Palácio Conde dos Arcos, construído em 1781, situado no bairro Garcia em Salvador (NOTA DA AUTORA)

³⁴http://alexuchoa.photoshelter.com/imgshow?&_bqG=271&_bqH=eJwz801JdXH3NTVzy0orDnDLLotwKk2MMA8rKfC0MrIwtjI0MABhIOkZ7xLsHO_o52JbogZm2wYn5pQlpuQXaQP5ocGuQfGeLrahILWJZrIIWZWukS6VJmrjxs4htsWpiUXJGQDo1yER&GI_ID=

No final do século XVIII e início do século XIX, chama atenção do autor a existência, pelo menos no Rio de Janeiro, de azulejos não portugueses, integrando fachadas anteriores a 1840. Ele explica em seu texto, que no intervalo de tempo entre 1810 e 1840, a produção portuguesa de azulejos praticamente parou por causa da série de conflitos que assolavam o país na época. Além disso, a vinda da família real para o Brasil, em 1808, fez desenvolver sobremaneira várias cidades, principalmente no Rio de Janeiro, Maranhão e Pernambuco, aumentando a demanda dos azulejos.

Com um gosto já consolidado no Brasil, pelo revestimento cerâmico, buscou-se suprir a deficiência portuguesa quanto à produção dos azulejos, nos mercados da Inglaterra, França e principalmente Holanda. Por isso é que, nesse período há tantos exemplares de outros países nas cidades brasileiras, até que a partir de 1840, Portugal retoma sua produção e volta a fornecer seus azulejos.



Figura 15 – casarão com fachada azulejada em São Luís do Maranhão, Brasil

(fonte: *site* REVISTA CAMPO E CIDADE³⁵)

Além disso, esse período também merece uma atenção especial do autor, pois se manifesta a prática brasileira de se azulejar também as fachadas externas (figuras 15 e 16). Em suas palavras: “[...] é o fenômeno “brasileiro” do século XIX o que mais merece ser estudado [...], já que ele representa a continuação no tempo da grande tradição azulejar portuguesa, [...] e que, por sua vez, vai influenciar, passados anos, a própria azulejaria em Portugal.” (SIMÕES, 1949, p. 15).

³⁵ <http://www.campoecidade.com.br/edicao-82-azulejaria-portuguesa/do-maranhao-para-a-europa/>

Segundo Simões, é ainda nos anos de 1700 que, sem dúvida inicialmente no Brasil, os azulejos saem dos interiores e vão revestir as fachadas. E ele continua: “[...] solução engenhosa e utilitária ela não havia ocorrido na Metrópole onde apenas o azulejo é aplicado em vergas de portas ou janelas exteriores [...]” (SIMÕES, 1949, p. 15).

E assim, com a “moda” brasileira das fachadas azulejadas em mente, Simões (1949, p. 18) conclui seu texto,

Seja como for, o certo é que a azulejaria do século XIX no Brasil, tem interesse particular e não só para o próprio Brasil como para Portugal! É que, quanto a mim, foi precisamente a solicitação do mercado brasileiro do meado do século XIX, tão intimamente ligado à classe mercantil do Norte de Portugal, que veio determinar o renascimento da velha arte do azulejo português! Foi do Brasil – continuação de Portugal – que veio para a velha metrópole a nova “moda” do azulejo de fachada, trazida pelos “brasileiros” de camiliana memória, que encheram o norte do país de chalés e vivendas, com seu ar exótico e equatorial, ou empregavam seus cabedais na construção de imóveis imponentes a dar ao Porto, principalmente, essa continuação de “ar de família” que notamos tão exuberantemente desde o Pará ao Rio de Janeiro! Curioso fenômeno de inversão de influências! Extraordinário exemplo de comunhão cultural!



Figura 16 – fachada com azulejos franceses, de Pays du Calais, séc. XIX. Rio de Janeiro, Brasil

(fonte: *blog* AZULEJOS ANTIGOS NO RIO DE JANEIRO³⁶)

3.2 CARACTERÍSTICAS E TÉCNICAS DE FABRICAÇÃO

Os azulejos, inicialmente, eram produzidos a partir de técnicas manuais que foram evoluindo com o passar dos anos. Com o advento da Revolução Industrial na Europa (século XVIII e XIX)

³⁶ <http://azulejosantigosrj.blogspot.com.br/2014/04/patrimonio-azulejos-antigos-no-rio-de.html>

e a consequente invenção das máquinas a vapor, uma nova etapa na história dos revestimentos cerâmicos começa a se desenhar nas recém-abertas fábricas de azulejos.

Em meados do século XIX, os azulejos passam a ser produzidos em série, de modo semi-industrial ou industrial. Nesse período de predomínio das fachadas revestidas com placas cerâmicas, a tipologia constituída por peças repetidas, formando o azulejo tipo *padrão*, ressurge no mercado azulejar da época.

Nas cidades de Lisboa, Porto e Vila Nova de Gaia concentraram-se as principais fábricas de azulejos surgidas a partir do século XVIII, com destaque para a primeira delas, A Real Fábrica do Rato, fundada em 1767 em Lisboa.

No Brasil, os azulejos eram produzidos da mesma maneira que em Portugal, tanto na tecnologia empregada, quanto nos modelos das placas. A fabricação brasileira teve início no século XIX, provavelmente, em Niterói por Antônio Survílio & Cia, que expôs seus produtos na I Exposição Nacional, em 1861. No Rio de Janeiro dois fabricantes, José Botelho de Araújo e Rougeot-Ainé, participaram da II Exposição Nacional realizada em 1866. Existem registros de trabalhos de faianças, ladrilhos e de outros produtos cerâmicos nas exposições 1873, 1875 e na Exposição da Indústria Nacional de 1881. (A RELIQUIA, 2001b).

A produção regular de azulejos só iria ocorrer no início do século XX, primeiro no Rio de Janeiro e em São Paulo e depois em outros estados. Uma das pioneiras foi a Fábrica Santa Catarina, de Romeu Ranzine, instalada em São Paulo em 1912. Em 1919 foi fundada no Rio de Janeiro, a Manufatura Nacional de Porcelana, começando a produção com louça doméstica e isoladores elétricos de porcelana, passando a fabricar azulejos em linha depois de 1931, quando foi comprada pelo Grupo Klabin. Novas indústrias surgiram no correr do século, com destaque para as fábricas Matarazzo, Schimidt, Mauá, Incepa, Iasa e Steateta. (A RELIQUIA, 2001b).

Segundo Mariz (2011), inicialmente os azulejos eram produzidos manualmente pela técnica das placas. Posteriormente, com a industrialização, os processos utilizados passaram a envolver maquinaria a vapor utilizando moldes. Os azulejos de meio relevo das fábricas de Lisboa usavam moldes de madeira ou de metal. As fábricas do Porto que produziam azulejos relevados

usavam moldes de madeira ou de gesso. São representações de malmequeres³⁷ ou de outros motivos florais.

Os moldes inicialmente eram usados em uma das faces, depois evoluiu para o uso do molde e do contramolde, começando daí o uso de tarдозes não lisos (com muraturas) visando favorecer o assentamento. Mariz (2011) também informa que nesse momento as fábricas passaram a imprimir suas marcas nos tarдозes, o que poderia significar uma ajuda preciosa aos pesquisadores e responsáveis pela restauração desses elementos, se não fosse pelo fato de que esse procedimento não era usual a todas as fábricas e, além disso, muito se plagiava nessa época e assim não era raro encontrar o mesmo padrão de azulejos sendo produzido em mais de uma fábrica.

A pintura, que antes era eminentemente manual, passa a utilizar, no final do século XIX, a técnica semi-industrial conhecida como estampilha, que no dizer de Backheuser (2006a), era feita a partir do uso de máscaras (figura 17) ou estampilhas, moldes feitos em papel encerado e cortados de acordo com os motivos desejados.



Figura 17 – moldes de papel encerado para uso da técnica da estampilha

(fonte: *blog TARDOZ*³⁸)

A cada cor correspondia uma máscara específica. Inicialmente, era utilizada apenas uma cor sobre o fundo branco, depois, com a evolução da técnica, passaram a ser utilizadas até cinco cores diferentes em cada desenho. Frequentemente a decoração era completada com desenhos pincelados à mão livre como atesta a figura 18.

³⁷ Malmequeres é a denominação dada em Portugal para as flores conhecidas como margaridas, no Brasil (NOTA DA AUTORA).

³⁸ <https://tardoz.wordpress.com/2012/05/30/tecnica-da-estampilha/>



Figura 18 – evidência das pinceladas de cor aplicadas através das aberturas da estampilha

(fonte: RELATÓRIO 303/2011- LNEC, 2011, p. 05)

Com a evolução do processo de mecanização, surge a técnica da estampagem, que como explica Backheuser (2006a), era baseada na impressão, através de prensagem mecânica, de uma estampa de papel sobre a face do azulejo. Essas estampas eram obtidas a partir de matrizes em metal ou zinco importadas de outros países europeus.

“Com o século XX e a industrialização, novas técnicas surgiram, como a aerografia, decalcomania, fotocerâmica e a serigrafia, permitindo aos artistas alargarem o campo das suas experiências.” (MUSEU DO AZULEJO, 2013).

Quanto às argilas empregadas na produção dos azulejos, Mariz (2011) comenta que sua escolha era cuidadosamente efetuada de acordo com a sua plasticidade, entretanto no início o seu controle não era muito eficiente, pois “[...] encontramos nos elementos mais antigos diferentes tipos de barro não uniformemente amassados, com elementos desengordurantes de grande dimensão, como acontece com o barro cozido e moído ou vacúolos provocados pela presença na pasta crua de elementos vegetais.”. Porém, a partir do fim do século XIX,

[...] as pastas começam a aparecer mais uniformes, finas e claras (ausência de impurezas de ferro contido nas argilas), resultantes da introdução de maquinaria que, por magnetismo, retirava da pasta estas impurezas. Estas novas técnicas de preparação do barro, permitiram a dispensa do óxido de estanho – opacizante – poupando recursos econômicos e aproveitando a cor clara da pasta – esta técnica é apelidada de pó-de-pedra (MARIZ, 2011).

Segundo Backheuser (2006a), a produção nesse período de uso do revestimento cerâmico nas fachadas, apresenta três tipos básicos de azulejos: lisos, de relevo (alto-relevo e meio relevo) e biselados (de aresta).

Os azulejos lisos possuem biscoito fino e liso com dimensões que variavam dos 14,5 cm aos 15,5 cm.” Geralmente apresentavam padrões baseados em quatro azulejos iguais compostos de forma a criar um padrão seguindo a fórmula $2 \times 2/1$.” (BACKHEUSER, 2006a).

Já os azulejos de alto-relevo (figura 19), de acordo com Backheuser (2006a) começaram a ser produzidos no século XIX, sob influência da faiança moldada. Esse tipo de azulejo era feito manualmente, aplicando-se a argila num molde e comprimindo as partes mais grossas da placa de barro com os dedos. Eram caracterizados por uma grande roseta central e quatro ramagens nas diagonais ou nos cantos do quadrado. Suas peças eram absolutas e, portanto, não compunham combinações.



Figura 19 – azulejo de padrão relevado, séc. XIX, Portugal

(fonte: *blog OLHARES, FOTOGRAFIA ONLINE*³⁹)

Com o avanço da industrialização, os azulejos de alto-relevo são substituídos pelos de meio relevo, muito mais finos (possuíam 15 mm, a metade da espessura dos relevados) e prensados mecanicamente com auxílio de um molde e contramolde (BACKHEUSER, 2006a).

Conforme Mariz (2011) os azulejos de meio relevo, menos expressivos que seus antecessores, os azulejos relevados, foram produzidos principalmente nas primeiras décadas do século XX.

“Em ambos os tipos a superfície recebia uma pintura externa esmaltada ligeiramente branca e, posteriormente, recebia uma pintura opaca que cobria ora o fundo ora as figuras relevadas.” (BACKHEUSER, 2006a). Mariz (2011) informa que esses azulejos “[...] eram pintados

³⁹ http://olhares.sapo.pt/azulejo_de_padrao_relevado_foto3144269.html

manualmente, [...]. É característica destes azulejos uma decoração baseada em motivos vegetalistas, nomeadamente florões, pequenas flores, folhas e ainda outros elementos fitomórficos⁴⁰.”.

Finalizando acerca dos padrões de azulejos utilizados nas fachadas, Backheuser (2006a) comenta sobre os azulejos biselados ou de arestas: “São retangulares, na proporção de 1:2, e chanfrado nas extremidades. Mais espesso que os outros tipos de azulejos, são monocromáticos, mas a incidência da luz produz variações de cores e sombras entre as partes planas e os chanfros”. Eram azulejos muito comuns em todo a Portugal e “eram assentados com as juntas desencontradas ou alinhadas, com as peças na horizontal ou vertical.”.

Na passagem do século XIX para o século XX os tipos se mantiveram, porém, se adaptaram às novas tendências artísticas e técnicas. O material surge com motivos historiados, tardo-românticos, *art-nouveau* e *art-decô*, e muitas igrejas antigas têm suas fachadas cobertas de azulejos (BACKHEUSER, 2006a).

⁴⁰ Fitomórficos, significa algo que apresenta características morfológicas semelhantes às dos vegetais. (NOTA DA AUTORA)

4 IMPORTÂNCIA DAS FACHADAS AZULEJADAS ANTIGAS

As fachadas azulejadas, representativas do final do século XIX e início do século XX em Portugal e no Brasil, transmitem o gosto estético de uma época. Por intermédio delas, é possível compreender como se pensava artisticamente e arquitetonicamente, tanto pelos diversos e primorosos padrões das placas cerâmicas de fachada, como também pelas soluções criadas no revestimento das fachadas de casas construídas na época ou mesmo muito tempo antes do assentamento.

Além da parte estética, também essas fachadas são importantes quanto à função que desempenham no imóvel, pois, como comenta Veiga (2003), elas protegem a alvenaria contra ações climáticas, choques mecânicos e contaminação ambiental. Possuem função não apenas de cobertura, mas também estrutural, pois os rebocos antigos eram influentes na resistência mecânica das alvenarias por serem estas mais frágeis que as atuais.

Neste capítulo, será feita uma breve explanação sobre a argamassa tradicional de cal, material largamente utilizada no passado, nas obras de construção. Comentar-se-á sobre as suas variadas composições, tanto em Portugal quanto no Brasil, demonstrando assim a forte influência que esse material possui, na sua constituição e produção, com relação ao local em que será utilizado.

4.1 ARGAMASSAS ANTIGAS DE CAL E SEU USO EM PORTUGAL E NO BRASIL

Denominam-se argamassas antigas, históricas ou tradicionais àquelas argamassas utilizadas antes da fabricação, em 1824, do cimento Portland na Inglaterra. Conforme Japiassú (2011, p. 53) anteriormente ao uso deste ligante, era utilizada a cal como aglomerante predominante na produção de argamassas.

Segundo Santiago (2007, p. 16) a definição usual de argamassa é a de que “[...] consiste em uma mistura de agregado miúdo, aglomerante e água [...]”. Entretanto, como continua analisando a autora, na história verifica-se que nem sempre foi essa a composição utilizada na produção de argamassas, inclusive na de cal, onde era acrescentado à mistura de areia e cal

Importância do uso de argamassas de cal na restauração de fachadas compostas por azulejos fabricados no final do século XIX e início do século XX.

outros materiais como pozolana⁴¹, material cerâmico pulverizado, limalha de ferro, óleo e cinzas de Tournai⁴².

Do exposto concluímos que na análise de argamassas antigas, é fundamental um profundo levantamento histórico composto por textos da época e ensaios laboratoriais com amostras remanescentes, a fim de se conhecer ou estimar a composição e traço da argamassa utilizada, uma vez que a mesma, assim como outros materiais e técnicas construtivas, varia muito de uma região para outra, pois é influenciada pelas matérias primas comuns ao local assim como pela tradição construtiva do seu povo.

4.1.1 O uso da Cal em Portugal

A origem do uso da cal em Portugal, particularmente no Sul deste país, parece estar intimamente relacionada ao período de ocupação mulçumana, que durou cerca de cinco séculos. Conforme Margalha (2011, p. 05), “[...] a cal tem nessa região do Alentejo grande utilização nas paredes de cor branca [...] e na constituição de algumas argamassas. O hábito de cair anualmente as paredes das casas e os muros das habitações, que ainda hoje se mantém em algumas aldeias e em parte nas cidades, tem essa origem remota.”

Em Portugal, além da cal e da areia, era usual a adição do solo da região às argamassas. De acordo com Santiago (2012, p. 71) citando Vasconcellos (1733) e Santos (1994),

Além dos inúmeros ensaios que tem comprovado o fato, o texto da autoria do padre português Ignácio de Vasconcellos cita que, na Cidade de Lisboa, encontrava-se, na época, uma terra avermelhada chamada saibro⁴³, a qual continha alguma areia (muito pouca) e se via, por experiência, que tal material fazia boa liga com a cal [...]. Dentro do mesmo argumento, em finais do século XX, o pesquisador português Victor M. Lopes dos Santos informou que nas casas da Baixa Pombalina, em Lisboa, era usado o saibro, uma areia argilosa amarelo-avermelhada, misturada com cal em pedra e porções de sebo, nas construções.

⁴¹ Pozolana é um material de origem vulcânica que, quando finamente moído e na presença de água, reage com hidróxido de cálcio formando compostos com propriedades cimentícias (*site* E-CIVIL, Descomplicando a Engenharia).

⁴² Cinzas de Tournai consistiam em uma mistura de *pierre bleu* (calcário) de Tournai (região na Bélgica) com hulha, calcinadas em conjunto e que conferiam hidráulidade à argamassa (SANTIAGO, 2007).

⁴³ “O termo *saibro*, embora derive do vocábulo latino *sabulo* (sabulonís), o que quer dizer areia grossa, a partir de certo momento, na língua portuguesa, passa a significar solo arenoso”. (SANTIAGO, 2012).

O cimento, descoberto no início do século XIX, veio substituir em parte o uso da cal em Portugal. No Alentejo, conforme Margalha (2011, p. 05), por exemplo, este uso só se generalizou mais recentemente, nos anos 50-60 do século XX.

Provavelmente devido ao seu custo, em Portugal o cimento foi inicialmente introduzido em obras em que a hidraulicidade era fundamental pela presença constante de água, como fossas sépticas, infraestruturas de águas e esgotos. Depois, passou a ser adicionado às cal e areia, formando as argamassas bastardas⁴⁴. A partir dos anos 50 o cimento passou a ser o principal ligante utilizado nos rebocos, tendo caído completamente em desuso a utilização da cal a partir dos anos 70, tendência que hoje se está a inverter, visto que estão de volta as argamassas bastardas e timidamente as argamassas de cal aérea e areia (MARGALHA, 2011).

4.1.2 Argamassas Bastardas no Brasil

Nesta etapa do trabalho, na qual será abordado o uso de argamassas antigas de cal em terras brasileiras, utilizar-se-á como referência, trechos do artigo publicado em 2012, intitulado *O Restauro da Argamassa de Cal no Brasil*, de autoria da Dr^a. Cybele Celestino Santiago⁴⁵, que aborda com muita propriedade, entre outros assuntos, o tema em questão.

Segundo a autora, a cal foi o aglomerante mais usado nas construções para a fabricação de argamassas de assentamento e de revestimento, até o aparecimento do cimento Portland. No Brasil, além do uso da tradicional mistura da cal com a areia, também era muito utilizada a adição de solo, prática pouco comum na Europa.

O sistema foi trazido para o país no Período Colonial pelos portugueses e segundo Santiago (2012, p. 68), “[...] ainda hoje, mesmo sendo raras as argamassas com cal, o solo é acrescentado à argamassa de cimento, sob a forma de caulim ou arenoso, em algumas regiões do país, com a função básica de alteração da plasticidade e minoração da retração [...]”.

⁴⁴ No Brasil, uma argamassa contendo solo na sua composição é conhecida como argamassa bastarda. Já em Portugal, tal termo designa a argamassa de cal com traços de cimento Portland na sua composição. (NOTA DA AUTORA)

⁴⁵ Cybele Santiago é Prof^a. Dr^a. da Universidade Federal da Bahia e integrante do NTPR, Núcleo de Tecnologia da Preservação e Restauração, que compõe o Programa de Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFBA (NOTA DA AUTORA).

Com relação à melhor areia para compor a argamassa, Santiago (2012, p. 68) cita Vitruvius⁴⁶ (1997) que determinava que “[...] seria considerada como boa aquela que não contivesse terra, o que seria comprovado se ela não manchasse um lenço branco [...]”. Essa recomendação, conforme o artigo, foi repassada ao longo dos séculos em tratados e livros de arquitetura e engenharia militar, mesmo nunca tendo sido feito um estudo mais aprofundado sobre a credibilidade de tal afirmação.

Entretanto, mesmo com a publicação até o século XIX de livros recriminando o uso nas argamassas de areias contendo argila, o seu emprego foi abundante tanto em Portugal quanto no Brasil, conforme salienta Santiago (2012, p. 69),

Atualmente, vários ensaios de caracterização de argamassas tradicionalmente usadas em construções brasileiras e portuguesas comprovam o uso de alguma porção de solo, quer tivesse sido ele colocado intencionalmente na mistura, como componente da mesma, ou que tivesse sido nela incluído como impureza presente na areia. O que os portugueses fizeram no Brasil, como já mencionado, foi usar em suas construções, as argamassas bastardas, e isto não levou à degradação das mesmas, o que é comprovado por meio do grande número de construções do período colonial ainda remanescentes.

Também no Brasil, sobretudo no litoral, havia uma peculiaridade a respeito da composição das argamassas de cal: as cales utilizadas eram provenientes de corais e não de rochas calcárias como em Portugal. Santiago (2012, p. 70) cita Souza (1587), que, estando em Salvador “[...] informava não ser necessário o envio de pedras de lioz⁴⁷ de Portugal para a confecção de cal, já que os corais atendiam muito bem ao objetivo, conseguindo-se com os mesmos obter uma cal de ótima qualidade [...]”. A autora acrescenta que além do uso de corais, também era comum a calcinação de conchas (SANTIAGO, 2012).

Quanto ao uso de solo local, denominado saibro, nas argamassas de cal no Período Colonial, Santiago (2012, p. 71) informa que tal material era adquirido em jazidas nos arredores da cidade ou através “[...] da demolição de construções públicas para emprego nas casas e, principalmente, nas fortificações.”

Com relação aos aditivos empregados, há uma enorme variedade, tanto orgânicos quanto inorgânicos, descrita em livros sobre o assunto. Óleos diversos, sucos, ovos, leite, cerveja,

⁴⁶ Vitruvius foi um arquiteto romano que viveu no século I a.C. e deixou como legado a obra “De Architectura”, tratado europeu do período greco-romano que serviu de inspiração a diversos textos sobre Arquitetura e Urbanismo, Hidráulica e Engenharia (*site WIKIPEDIA*, a Enciclopédia Livre).

⁴⁷ Pedra de lioz ou lioz é um tipo raro de calcário que ocorre em Portugal, na região de Lisboa e seus arredores (norte e noroeste) (*site WIKIPEDIA*)

mucilagem de cactos, melação de cana-de-açúcar, pó cerâmico, palha, casca de arroz, entre outros (SANTIAGO, 2012).

4.2 ALVENARIA ANTIGA, COMPOSIÇÃO E ANÁLISE

Cabe aqui um esclarecimento acerca do porquê da abordagem a seguir sobre a alvenaria antiga, mas sem o revestimento azulejado: não foram encontradas referências específicas sobre a composição e execução das camadas constituintes das fachadas azulejadas no período entre o final do século XIX e início do século XX, em Portugal e nem tão pouco no Brasil, com exceção de uma breve descrição que será mencionada no item sobre a patologia das fachadas azulejadas.

Japiassú (2011, p. 51), comenta sobre a mesma dificuldade, inclusive citando Ferreira (2009) o qual não conseguiu obter informações, nem orais e nem documentais, sobre as técnicas aplicadas no assentamento de azulejos nas fachadas do município de Ovar, em Portugal, no mesmo período.

Sendo assim, partindo do princípio que muitas casas já haviam sido construídas muito antes de serem revestidas com os azulejos e que provavelmente mesmo aquelas que eram revestidas na ocasião de sua construção, recebiam técnicas construtivas tradicionais, a análise da composição e execução das paredes externas antigas acrescentará satisfatoriamente ao conteúdo deste trabalho.

São conhecidas como paredes antigas, conforme Japiassú (2011, p. 49), aquelas erguidas antes do surgimento do concreto armado, no século XX. Independente da forma e da sua composição, que variava de acordo com a região, possuíam sempre as mesmas características: “[...] acumulavam a função resistente com a função de proteção em relação aos agentes climáticos e às ações externas em geral; os materiais usados na sua constituição eram mais porosos e deformáveis que os usados atualmente e as capacidades de resistência e de proteção eram asseguradas essencialmente através da espessura.” (VEIGA, 2003, p. 01).

No caso das fachadas azulejadas, outra grande importância das argamassas antigas de cal é o seu uso no assentamento de azulejos. Graças à lenta carbonatação da cal, a aderência entre a base do azulejo e a argamassa vai se tornando cada vez mais eficiente ao longo do tempo, mantendo as placas cerâmicas fixas na fachada por muitos anos.

Importância do uso de argamassas de cal na restauração de fachadas compostas por azulejos fabricados no final do século XIX e início do século XX.

Em Portugal, as paredes antigas costumavam ser constituídas de alvenaria simples de pedras, graças à predominância desse material no país. Nas regiões cuja dificuldade em se conseguir pedras era maior, construía-se utilizando o adobe e a taipa. (JAPIASSÚ, 2011). Entretanto, independente da constituição da parede, o seu revestimento seguia praticamente o mesmo sistema de execução.

Segundo Veiga (2003, p. 01), os revestimentos eram constituídos por camadas bem definidas (figura 20) e com funções específicas, são sistemas multicamada: camadas de regularização e proteção (emboço, reboco e esboço) e camadas de proteção, acabamento e decoração (barramento ou guarnecimento, pintura (em geral mineral) e ornamentação (nos casos mais elaborados)).



Figura 20 – argamassa de cal, do século XIX, em várias camadas e com colorações características

(fonte: VEIGA, 2010, p. 11)

As primeiras camadas eram as de regularização e proteção, constituídas por argamassas de cal e areia, podendo ter adições minerais e aditivos orgânicos. Ainda conforme Veiga (2003, p. 01), as camadas internas possuíam maior granulometria que as externas, ou seja, cada camada era progressivamente mais fina que a anterior, além disso a deformabilidade e a porosidade aumentavam das camadas internas para as externas, promovendo dessa forma um bom comportamento frente às deformações estruturais e favorecendo a saída da água por evaporação. “[...]Cada uma das camadas principais referidas era, por sua vez, constituída por várias subcamadas. Com efeito, para a mesma espessura total, camadas finas em maior número permitiam uma melhor capacidade de proteção e uma durabilidade superior.” (VEIGA, 2003, p. 02).

Já os barramentos eram camadas constituídas por massas finas de pasta de cal, ou de pasta de cal com pó de pedra, também geralmente aplicadas em várias subcamadas, com “[...]finura

crecente das mais interiores para as mais exteriores.” (VEIGA, 2003, p. 02). Essas camadas são extremamente importantes para a proteção do reboco, pois como salienta Veiga (2003, p. 02), quando se destacam, se assiste a uma degradação rápida do reboco subjacente.

Quanto à coloração das superfícies, era feita através da incorporação de agregados de terras ou de pigmentos minerais na última camada de barramento, ou por camadas posteriores de pintura, geralmente de cal com pigmentos e outras adições minerais. As superfícies podiam ser ornamentadas com fingidos⁴⁸ (figura 21), esgrafitos⁴⁹, grafitos⁵⁰, com baixos-relevos e os altos-relevos (estuques), pintadas com policromia e técnicas da pintura mural (a fresco ou a seco) ou simplesmente coloridas de vários modos (VEIGA, 2003).



Figura 21 – fingidos de azulejo em fachada (século XIX)

(fonte: VEIGA, 2003, p. 18)

⁴⁸ Fingidos, consistia na “simulação de materiais ricos, como a pedra ou a madeira, através da pintura.” (JAPIASSÚ, 2011).

⁴⁹ Esgrafitos eram “decorações executadas através da remoção de partes de uma ou mais camadas de revestimentos previamente realizadas com pasta de cal e agregados finos sobre rebocos, geralmente de diferentes cores e em jogo de claro e escuro.” (JAPIASSÚ, 2011).

⁵⁰ Grafitos eram “inscrições decorativas realizadas através de incisão nos revestimentos de cal, utilizando punções ou outros instrumentos.” (JAPIASSÚ, 2011).

5 PRINCIPAIS PATOLOGIAS DAS FACHADAS AZULEJADAS ANTIGAS

Nesta etapa do trabalho, serão abordadas as principais causas dos desgastes verificados na fachada azulejada, a partir das patologias que mais acometem as suas partes constituintes, ou seja, as placas cerâmicas e o suporte⁵¹ (figura 22).

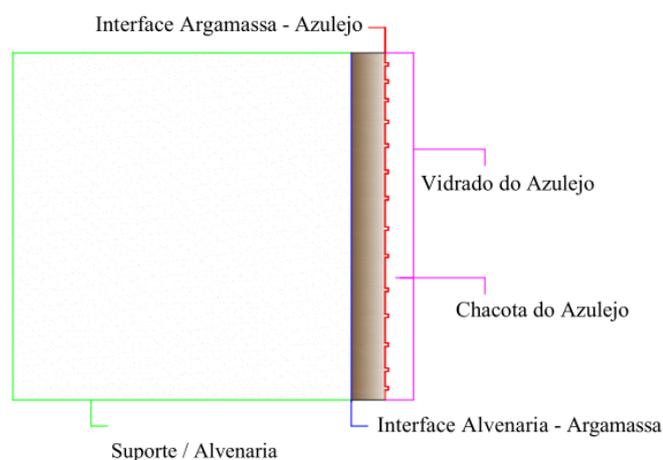


Figura 22 – desenho esquemático de uma fachada azulejada típica com as suas partes constituintes

(fonte: SIMÕES, 2011, p. 45)

5.1 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Entende-se como Patologia das Edificações, a ciência que estuda as origens, causas, mecanismos de ocorrência, manifestações e consequências das situações em que os edifícios ou suas partes deixam de apresentar o desempenho mínimo pré-estabelecido.

Conforme já mencionado, as manifestações patológicas serão analisadas quanto aos azulejos e ao suporte, porém é importante ter em mente que os elementos trabalham em conjunto e assim, a degradação de um ou do outro afeta a fachada como um todo, como será verificado no final deste capítulo.

⁵¹ Suporte ou base corresponde à camada mais externa da alvenaria (alvenaria antiga, no caso deste trabalho), onde estão assentados os azulejos (NOTA DA AUTORA).

5.1.1 Quanto ao Azulejo Antigo

Inicialmente, é importante o entendimento da nomenclatura correspondente às partes que constituem um azulejo, a saber:

- a. Vidrado: é a face ornamentada do azulejo, resultado da cozedura de uma substância à base de esmalte que confere brilho e impermeabilidade à peça (figura 23a).
- b. Tardo: é o verso do azulejo, que pode ser liso ou possuir ranhuras, chamadas muraturas (figura 23b).
- c. Biscoito ou *Chacota* (em Portugal): é uma placa de barro cozido sobre a qual se aplica o vidrado e que constitui o corpo cerâmico do azulejo.



a

b

Figura 23 – a. vidrado do azulejo, b. tardo com muraturas

(fonte: RELATÓRIO 303/2011- LNEC, 2011, p. 05)

Segundo o Relatório 303/2011 do LNEC⁵² intitulado *Sobre a Degradação Física dos Azulejos de Fachada em Lisboa*, as principais manifestações patológicas que acometem os azulejos de fachada são a fissura do vidrado, a queda do vidrado e a desagregação da *chacota* ou biscoito.

A seguir será feita uma análise, de maneira concisa, a respeito de cada uma das formas de degradação do azulejo acima listadas, utilizando como referência o estudo feito pelo LNEC. Tal estudo possui grande relevância, mesmo quando aplicado aos azulejos de fachada

⁵² LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Lisboa, Portugal. (NOTA DA AUTORA)

Importância do uso de argamassas de cal na restauração de fachadas compostas por azulejos fabricados no final do século XIX e início do século XX.

assentados no Brasil, já que a grande maioria dessas peças cerâmicas foi importada das fábricas portuguesas de Lisboa e do Porto.

a. Fissura do Vidrado

Segundo o Relatório 303/2011 do LNEC, a fissuração do vidrado também conhecida como *craquelé* (figura 24), costuma estar relacionada às diferenças quanto às expansões térmicas do biscoito e do vidrado, que pode se manifestar durante o resfriamento após a cozedura. “O vidrado, fino, retrai rapidamente enquanto que a *chacota*, com uma inércia térmica muito maior, tem uma retração retardada, originando o *craquelé*.” (RELATÓRIO 303/2011- LNEC, 2011, p. 17).

A fissura do vidrado normalmente é uma patologia inerente ao processo de fabricação do azulejo, entretanto também pode ocorrer durante o seu assentamento nas fachadas, devido à absorção diferenciada de água pelo biscoito e pelo vidrado, como explica o texto do Relatório 303/2011 do LNEC (2011, p. 18):

Quando os azulejos são umedecidos pelo tardo devido à molhagem das paredes onde estão colados (quer se trate de umidade ascensional, de penetrações pelas coberturas ou tubos de queda, de infiltrações a partir das redes de água ou esgotos, ou de defeitos de estanqueidade das juntas) os corpos cerâmicos sofrem uma expansão considerável, que pode ultrapassar os 0,3 mm por metro linear e que devido à histerese dos ciclos de molhagem/secagem se torna cumulativa originando um alargamento crescente e irreversível do corpo cerâmico. Esta expansão não é acompanhada pelo vidrado que é, assim, sujeito a um estado de tensão semelhante ao que ocorre num arrefecimento rápido e pode conduzir à sua fissuração já em obra, segundo um padrão de *craquelé*.



Figura 24 – padrão de *craquelé* em azulejos de fachada em Lisboa, Portugal

(fonte: RELATÓRIO 303/2011- LNEC, 2011, p.17).

b. Queda do Vidrado

A queda do vidrado do azulejo deixa exposto o biscoito, que se mantém aderido à fachada estando assim mais susceptível a posteriores degradações. Segundo o Relatório 303/2011 do

LNEC, essa queda acontece devido à aderência insuficiente entre o vidrado e o biscoito, que não consegue, portanto, resistir às agressões que por ventura venham a sofrer, principalmente no caso da umidade dos suportes.

As causas da aderência ineficiente do vidrado e a maneira como esta pode se degradar com o passar do tempo, ainda não são bem conhecidas de acordo com o LNEC, que promove vários estudos a respeito. Entretanto, sabe-se das consequências dessa degradação, que promove a formação de falhas e a perda irrecuperável da decoração da fachada, pois nas intervenções de restauro, esses azulejos precisam ser descartados e substituídos por réplicas. (RELATÓRIO 303/2011- LNEC, 2011).

Através da forma como o vidrado se destaca do corpo cerâmico, o LNEC classifica a queda do vidrado em: queda em mosaico, queda a partir das arestas (ex.: figura 25), queda por descasque, queda do vidrado nas convexidades e queda do vidrado segundo a cor.



Figura 25 – estágio avançado do destacamento a partir das arestas em uma fachada revestida com um padrão raro de azulejo de exterior

(fonte: RELATÓRIO 303/2011- LNEC, 2011, p. 27)

c. Desagregação da *Chacota* (ou biscoito)

De acordo com o estudo elaborado pelo LNEC sobre as causas de degradação dos azulejos de fachada em Lisboa, as principais causas de degradação no vidrado dos azulejos são a umidade na placa cerâmica e a fraca ou inexistente aderência entre o vidrado e o biscoito.

Já com relação à *chacota* ou biscoito, verifica-se que o elemento mais nocivo e que causa a desagregação do mesmo é a cristalização de sais solúveis dentro do azulejo, como é possível observar na figura 26. Entretanto, esses sais causam danos apenas e tão somente quando já existe uma deficiência na aderência entre o vidrado e o biscoito, pois dessa maneira, haverá

uma facilidade na entrada da água com os sais no interior do corpo cerâmico. Assim, com a evaporação da água, ficarão os sais dentro do azulejo, que ao se cristalizarem comprometem toda a placa a partir do biscoito.

Como atesta o Relatório 303/2011 do LNEC (2011, p. 35/36),

[...] não encontramos provas, incluindo através de ensaios de envelhecimento em meio salino, de que um azulejo com o vidrado bem aderente seja fisicamente afetado pela presença de sais solúveis. Uma vez que a impermeabilidade do vidrado praticamente nega a possibilidade de evaporação à água existente na *chacota*, os sais nela dissolvidos acompanharão a frente úmida à medida que recua para o suporte. Não se demonstrou que qualquer pequeno remanescente provoque danos significativos [...].

[...] excetua-se os casos em que os azulejos já perderam o vidrado por uma das razões anteriormente apontadas. Nestes casos a *chacota* exposta oferece uma área de fácil evaporação e se ocorrerem as condições necessárias à sucessão cíclica da dissolução e recristalização de sais solúveis, a *chacota* poderá sofrer uma desagregação em profundidade.



Figura 26 - desagregação do biscoito, possivelmente provocada por cristalização de sais solúveis

(fonte: RELATÓRIO 303/2011- LNEC, 2011, p. 36).

5.1.2 Quanto à Alvenaria Antiga

Como visto anteriormente, a alvenaria antiga possui várias camadas de argamassas com granulometrias e espessuras diferentes. A argamassa de cal presente nessas camadas e a técnica construtiva do uso de multicamadas conferem aos revestimentos externos grande importância na conservação do prédio. Conforme Veiga (2003), o revestimento externo tem papel fundamental na proteção da alvenaria antiga contra ações climáticas, choques mecânicos, contaminação ambiental; condicionam fortemente o aspecto final das construções. Além disso, os rebocos podem reforçar significativamente a resistência mecânica de alvenarias fracas, função muito importante, já que as paredes antigas têm, em geral, funções estruturais.

Apesar das argamassas de cal não serem muito resistentes mecanicamente, possuem resistência suficiente e adequada para serem usadas em alvenarias antigas. Além disso, possuem boa plasticidade e baixa retração, com constância de volume em condições variáveis de umidade (MARGALHA, 2011).

A porosidade, característica primordial dos revestimentos à base de cal, contribui sobremaneira para um melhor ambiente na habitação, promovendo o controle da quantidade de umidade no seu interior. Diz-se que são argamassas que permitem à edificação “respirar”, já que facilitam a saída da água por evaporação.

Margalha (2011 p. 28) chama atenção a respeito do mecanismo de proteção contra a umidade nessas paredes: “durante a construção, não era usual barrar à ascensão da água por capilaridade, das fundações para as paredes. Além disso, os pavimentos internos eram muitas vezes construídos diretamente sobre a terra batida, favorecendo assim a entrada de água.”

Veiga (2003, p. 01) complementa, informando que “[...] o modelo de funcionamento das paredes antigas, mais espessas e porosas, sem corte de capilaridade, admitia a entrada de água para o interior da alvenaria, mas evitava uma permanência prolongada, procurando promover a sua fácil e rápida saída para o exterior”.

Segundo Magalhães (2011, p. 3), “a água é a causa primeira de muitas anomalias e causa secundária de muitas outras.”.

Naturalmente, até determinado teor, a umidade, sobretudo nas alvenarias antigas, é perfeitamente aceitável. Porém, essa umidade apenas começa a ser encarada como patologia, quando se dá o aparecimento de uma quantidade de água acima do suportado pelo revestimento, manifestando-se a patologia a partir do aparecimento de manchas.

A água vem sendo identificada como o agente de deterioração que mais afeta os materiais de alvenaria. “A sua presença no interior do poro da estrutura do revestimento ou da parede, pode resultar em destruição se o material estiver submetido a ciclos de molhagem/secagem ou gelo/degelo.” (MAGALHÃES, 2011, p. 3). Também causa grande preocupação à integridade da edificação antiga o fato de que é necessária a presença da umidade para que muitos agentes de degradação ajam, como os gases poluentes que são prejudiciais quando dissolvidos em água,

o crescimento biológico que só ocorre em presença da umidade, as eflorescências dos sais que entram nas alvenarias antigas na forma de solução, dissolvidos em água e assim por diante.

O uso de materiais menos permeáveis que a cal, dificulta a saída da água em forma de vapor, propiciando que essa umidade fique mais tempo na edificação, favorecendo a ação dos agentes de degradação supracitados. Além disso, também eleva a altura de absorção de água por capilaridade da edificação, tornando úmidas áreas que originalmente se mantinham sempre secas. Segundo Souza (2013, p. 26), “a ascensão e retenção da umidade no interior do substrato se dá até o nível em que a quantidade de água evaporada pelo revestimento compense a que penetra por capilaridade ascendente.”.

Portanto, diminuindo as condições de evaporação, a altura da umidade da alvenaria tende a aumentar para que se estabeleça um novo equilíbrio hídrico entre a quantidade de água que entra e a que sai. A situação das edificações antigas também é agravada, pois Souza (2013) salienta que quanto maior a espessura da alvenaria, como é o caso das alvenarias antigas, maior será o nível de umidade atingido.

Na figura 27 é possível observar as diferenças na altura da umidade absorvida por capilaridade quando se utiliza um material menos permeável que o original.

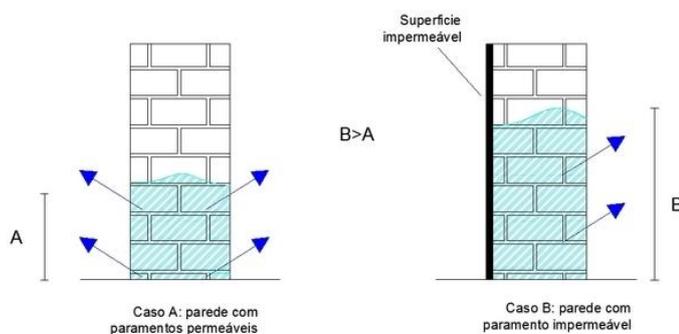


Figura 27 – altura atingida pela água na alvenaria antiga em função da mudança nas condições de evaporação

(fonte: *site* REABILITAÇÃO E MANUTENÇÃO DE EDIFÍCIOS⁵³)

Sendo assim, é natural pensar que o material empregado no revestimento das paredes exteriores, assim como a técnica construtiva, deva contribuir com a saída da umidade e possuir a mesma trabalhabilidade que o seu suporte. Caso contrário, esses revestimentos sujeitos a um período de permanência da umidade por tempo excessivo sofrerão grande prejuízo.

⁵³ <http://reabilitacaodeedificios.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=11987&st=humidade>

Outra manifestação patológica que costuma acometer às edificações antigas é a cristalização dos sais solúveis, sendo amplamente reconhecida como a principal causa da deterioração desses edifícios. A degradação tem início nas camadas superficiais do imóvel antigo e com o desaparecimento destas, evolui atingindo a “[...] própria alvenaria, através da perda de coesão da argamassa de juntas e dos tijolos cerâmicos, quando é esse o caso.” (VEIGA, 2003, p. 06).

As edificações antigas, devido à alta porosidade de seus revestimentos, normalmente à base de cal, estão constantemente em contato com sais provenientes de várias origens, como da umidade ascensional, do solo, da poluição atmosférica, entre outros. Uma vez que se trata de sais solúveis em água, o esperado é que estes deixem o imóvel juntamente com a umidade, através da evaporação facilitada pela alta permeabilidade das suas argamassas.

Entretanto, quando é incorporado ao revestimento um material com baixa permeabilidade, muitos sais não conseguem deixar a edificação, concentrando-se em determinadas regiões e transmitindo esforços ao suporte, que poderá fissurar.

Além disso, conforme Gonçalves e Rodrigues (2010), quando a taxa de fornecimento de solução salina no interior de um material é superior à sua taxa de evaporação, a solução salina chega até à superfície onde evapora. Em seguida, esses sais se cristalizam, formando as eflorescências (figura 28). “Apenas quando a taxa de fornecimento da solução não é mais rápida do que a taxa de evaporação, os cristais podem desenvolver-se no interior dos poros do material, formando criptoflorescências.” (GONÇALVES e RODRIGUES, 2010, p. 2).

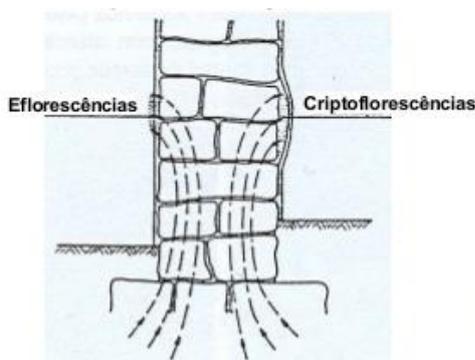


Figura 28 – eflorescências e criptoflorescências de sais provenientes da umidade ascensional

(fonte: material de aula do IST⁵⁴)

⁵⁴ Material de aula intitulado Humidades em Edifícios, do Instituto Superior Técnico – IST, Lisboa, Portugal (<http://pt.slideshare.net/ratosdotecnico/humidades>)

Ainda quanto ao uso de revestimentos com baixa absorção capilar quando comparados aos revestimentos originais do suporte da edificação antiga, Gonçalves e Rodrigues (2010) comentam que três situações podem ocorrer, inclusive simultaneamente, quando a solução salina tem sua trajetória dificultada ao atingir um revestimento mais impermeável:

- a. Parte da solução salina sofre evaporação entre o revestimento e o suporte e a solução restante continuará sua migração em direção à superfície, evaporando-se em seguida. No final, haverá cristalização de sais tanto na interface revestimento – suporte quanto na superfície do revestimento;
- b. A área da camada afetada pela migração das soluções salinas tende a aumentar devido à sua menor capacidade de absorção, quando comparado ao suporte. Como consequência, haverá cristalização superficial ou eflorescências em uma área muito maior do que se o revestimento tivesse característica similar à do material do suporte;
- c. E finalmente, haverá a tendência de a solução salina alterar o seu percurso em direção à superfície, buscando por regiões fronteiriças à do revestimento e que possuam maior capacidade de transporte capilar.

“Os sais solúveis originam problemas estéticos, diminuição das condições de habitabilidade e acarretam custos elevados associados a reparações recorrentes. Em casos extremos, os sais podem comprometer a segurança estrutural de construções antigas.” (GONÇALVES e RODRIGUES, 2010, p. 1).

5.1.3 Quanto à Fachada Azulejada Antiga

Provavelmente, a cristalização dos sais solúveis, corresponda a principal causa de degradação da fachada azulejada propriamente dita.

Como foi descrito na degradação do biscoito, a cristalização dos sais apenas afeta negativamente o azulejo quando o mesmo possui deficiências na aderência entre o vidro e o biscoito. Caso contrário, a fachada continuará íntegra, mesmo que em outras áreas da edificação seja perceptível à presença da eflorescência de sais cristalizados.

Porém, se não for esse o caso e ocorrer queda do vidro, o biscoito se degradará rapidamente, expondo o revestimento que dessa maneira, ficará sujeito não apenas a umidade ascensional como também a trazida pela chuva. Dessa forma, a água em excesso poderá não evaporar satisfatoriamente, permanecendo por mais tempo na edificação, comprometendo a adesão dos azulejos que ainda estiverem aderidos.

Conforme mencionado na introdução desse capítulo, qualquer que seja o tipo de degradação que venha ocorrer no azulejo e/ou no suporte, interferirá diretamente na aparência e na funcionalidade da fachada como um todo, podendo inclusive causar sua completa aniquilação, com perda de todos os azulejos e danos irreparáveis à alvenaria e na sequência à estrutura, como exemplifica a figura 29.



Figura 29 – estágio final da degradação da fachada com a perda total dos azulejos e descaracterização do imóvel quanto ao seu valor histórico, em Lisboa, Portugal

(fonte: RELATÓRIO 303/2011- LNEC, 2011, p. 40)

6 AZULEJOS DE FACHADA, COMPOSIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

Neste capítulo serão analisadas a composição mineralógica e a capacidade de absorção de água de três diferentes grupos de azulejos de fachada: azulejos pertencentes às fachadas de algumas casas da cidade portuguesa de Ovar, fabricados no final do século XIX e início do século XX; réplicas de azulejos antigos, fabricadas para serem usadas em obras de restauração e azulejos novos, utilizados atualmente para assentamento em fachadas recém erguidas.

Para a composição deste e dos próximos capítulos, foram comparadas e analisadas pesquisas provenientes de estudos realizados no Brasil e em Portugal, difundidas por autores gabaritados, pertencentes a instituições idôneas. As normas dos diferentes países, a NBR no Brasil e a EN em Portugal, foram respeitadas e seguidas com relação ao tipo de ensaio e suas etapas de execução, assim, considerou-se pertinente manter a separação entre as análises dos dados dos estudos brasileiros e portugueses.

Partindo do princípio que a base de investigação nos dois países foi a mesma, notadamente a respeito dos azulejos de fachada, da argamassa de assentamento destes azulejos e do mecanismo de aderência entre eles, não haverá prejuízo na separação dos resultados supracitados.

Os estudos portugueses aplicam-se com grande importância no desenvolvimento deste trabalho, uma vez que muitos dos azulejos de fachadas antigas no Brasil são originários de fábricas portuguesas assentados de acordo com a experiência construtiva daquele país. Além do mais, Portugal conta com uma respeitada e eficiente rede interligada de universidades e instituições públicas e privadas, dedicadas à pesquisas e estudos dos pormenores de seu patrimônio edificado, gerando uma gama variada de publicações a respeito, que deve ser valorizada, estudada e assimilada.

De maneira a facilitar o entendimento sobre a pesquisa e os ensaios realizados na obtenção dos dados aqui expostos, cada trabalho analisado foi representado pelo último sobrenome do autor seguido do ano de sua publicação. Além disso, as amostras dos azulejos utilizados nas pesquisas, tiveram seus códigos originais alterados a fim de propiciar uma melhor correlação entre os diferentes trabalhos analisados e suas respectivas amostras.

No final deste capítulo, serão feitas observações entre os diversos grupos de azulejos pesquisados e suas características. Pretende-se, desta forma, demonstrar a diferenciação física e química existente, lançando assim a ideia de que, também por este motivo, cada grupo de azulejos comporta-se de forma particular à técnica e aos materiais utilizados durante o processo de assentamento.

6.1 ENSAIOS EXECUTADOS

Para um melhor entendimento, os ensaios foram organizados de acordo com o apresentado na figura 30.

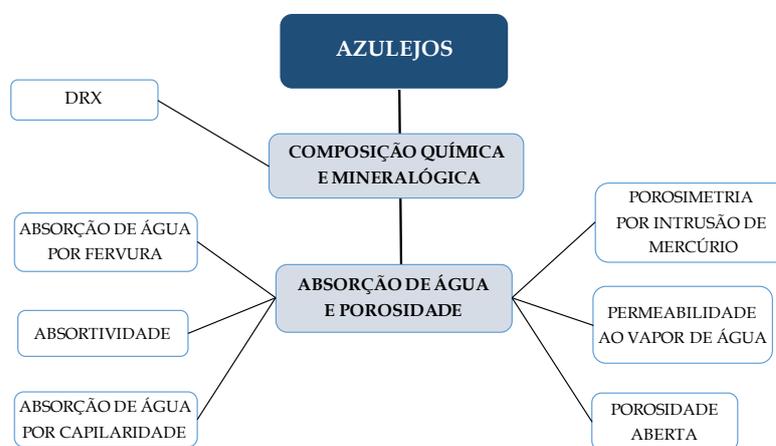


Figura 30 – organização dos ensaios executados nos azulejos

(fonte: elaborada pela autora)

A porosidade é uma característica muito importante na eficiente fixação dos azulejos nas fachadas, pois a dimensão e distribuição dos poros da sua superfície estão diretamente relacionadas com o mecanismo de aderência azulejo/argamassa através da penetração da água e dos materiais finos da argamassa na placa cerâmica, mecanismo fundamental durante o processo de assentamento. Sendo assim, os ensaios visaram caracterizar porometricamente os azulejos e conhecer as características de transporte de água através da sua superfície (BOTAS et al., 2012).

No estudo da dimensão e densidade dos poros, aplicou-se o método denominado de porosimetria por intrusão de mercúrio. Para a verificação da absorção de água, foram utilizados os ensaios de absorção de água total por fervura e absorção de água total ao longo do tempo,

no Brasil e os ensaios de absorção de água por capilaridade, porosidade aberta e permeabilidade ao vapor de água em Portugal.

O levantamento de informações sobre a composição mineralógica dos azulejos, também é muito importante no estudo dos revestimentos cerâmicos, uma vez que os minerais utilizados na sua produção e suas conseqüentes temperaturas de queima, definem as características porométricas. Além disso, o conhecimento sobre os minerais constituintes pode auxiliar na definição de questões fundamentais quando se analisam materiais de interesse histórico, tais como o local e a época em que foram produzidos.

Para o estudo da composição mineralógica dos materiais, utilizou-se a difração de raios X (DRX).

6.1.1 Difração de Raios X (DRX)

De acordo com o Laboratório de Preparação e Caracterização de Materiais⁵⁵ (LPCM) da Universidade de Campinas, São Paulo, Brasil, a difração de raios X é uma técnica para o estudo de materiais que viabiliza a obtenção de informações sobre a sua estrutura atômica e molecular. Com esse método é possível identificar as posições atômicas e a composição química das amostras analisadas.

Durante o procedimento, faz-se incidir um feixe de raios X sobre o material a ser estudado e detecta-se o feixe de raios que emerge dele. Ao interagir com a estrutura atômica da amostra, o feixe é difratado pelos seus átomos. Como resultado, as várias direções em que os raios X emergem do material, transmitem informações sobre a estrutura atômica do mesmo, determinantes para sua completa caracterização. Esses dados podem ser extraídos e interpretados através da análise dos raios X emergentes, sendo possível, inclusive, a construção da imagem da estrutura do cristal, com as posições de seus átomos.

6.1.2 Porosimetria por Intrusão de Mercúrio

Como explica o Departamento de Química da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa⁵⁶ em Portugal, a porosimetria de mercúrio permite a análise de

⁵⁵ <http://portal.ifi.unicamp.br/dfa/lpcm>

⁵⁶ <http://www.dq.fct.unl.pt/servicos-externos/porosimetria-de-mercurio>

um conjunto de propriedades de estruturas sólidas por intrusão de mercúrio a pressões controladas. É possível obter dados de distribuição de tamanhos de poros, diâmetro médio e volume total de poros, além de densidades da amostra. Entre as aplicações comuns estão os ensaios em materiais cerâmicos e materiais de construção, catalisadores, produtos farmacêuticos entre outros.

A técnica baseia-se no fato de que o mercúrio se comporta como um fluido não-molhante em relação à maior parte das substâncias. Sendo assim, conforme descreve o Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas⁵⁷ (L.M.P.T.) da Universidade Federal de Santa Catarina no Brasil, o mercúrio não penetra espontaneamente em pequenos furos ou fissuras desses materiais, a não ser que se aplique pressão sobre ele.

Se uma amostra de um sólido poroso é encerrada em um recipiente dotado de um capilar, fazendo-se vácuo sobre esta amostra e preenchendo-se o recipiente e o capilar com mercúrio, ao aumentar a pressão sobre o líquido este penetrará nos poros da amostra reduzindo seu nível capilar. Em seguida, regista-se a redução do nível de mercúrio no capilar e a pressão aplicada, originando uma curva porosimétrica (volume acumulado [ml/g] x diâmetro do poro [μm]) que informa o volume de poros do material penetrado a uma dada pressão.

A figura 31 apresenta um aparelho utilizado no ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio.

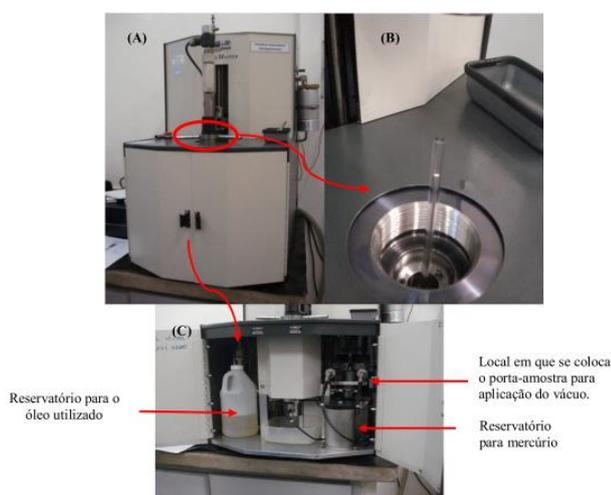


Figura 31 – (A) Porosímetro por intrusão de mercúrio; (B) Porta amostra (C) Interior do Porosímetro

(fonte: PIMENTA e CASCUDO, 2011).

⁵⁷ http://www.lmpt.ufsc.br/pesquisa_micro_porosimetria.php

De acordo com Japiassú (2011), o procedimento na aplicação do porosímetro considerou as etapas abaixo:

- a. as amostras de azulejos precisaram ser cortadas até as dimensões de 0,7 cm x 0,6 cm x 2,3 cm;
- b. após o corte, feito com água para diminuição do atrito, as amostras foram secas em estufa à temperatura de 40 °C até a constância de sua massa;
- c. depois de secas, as amostras foram acomodadas em um dessecador contendo sílica em gel;
- d. a amostra foi então pesada em balança de precisão;
- e. após a etapa anterior, executou-se segunda pesagem, agora do conjunto formado pela amostra e penetrômetro;
- f. em seguida, foi colocado em funcionamento o porosímetro, contendo o penetrômetro (figura 32) com a amostra a ser analisada;

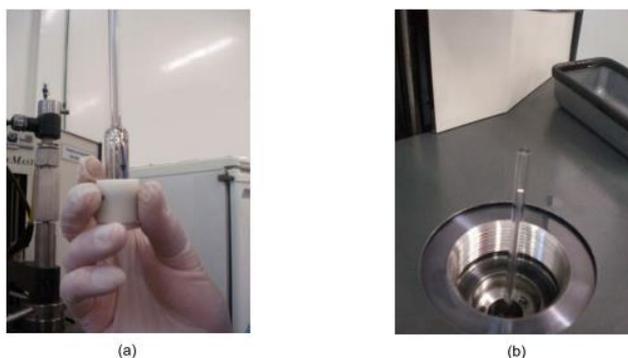


Figura 32 – penetrômetro com amostra de azulejo; (a) fora do porosímetro (b) dentro do porosímetro

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 86).

- g. durante o funcionamento do aparelho, o penetrômetro com a amostra é submetido ao vácuo e preenchido com mercúrio;
- h. em seguida, foi realizada uma segunda pesagem agora do conjunto penetrômetro contendo a amostra e o mercúrio;
- i. depois de pesado, o penetrômetro é novamente inserido no porosímetro para a finalização do ensaio;

- j. nesta etapa, é introduzido óleo pela haste do penetrômetro, propiciando que o mercúrio seja pressionado;
- k. A pressão é aumentada gradualmente a fim de que ocorra a intrusão do mercúrio na amostra;
- l. a leitura da intrusão é realizada pelo aparelho, e em seguida, diminui-se aos poucos a pressão para que ocorra a extrusão do mercúrio;
- m. os dados do ensaio, são processados automaticamente através do programa do próprio porosímetro.

6.1.3 Absorção de Água Total por Fervura

De acordo com a NBR 13818:1997, anexo B, o procedimento de ensaio consiste em:

- a. secar os corpos de prova⁵⁸ na estufa a temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, até que atinjam massa constante, isto é, até que a diferença entre as sucessivas pesagens efetuadas em um intervalo de 24 h seja menor que 0,1%;
- b. colocar os corpos de prova no dessecador com sílica gel ou outro dessecante apropriado, até atingir a temperatura ambiente;
- c. determinar a massa (m_1) de cada corpo de prova, cuja exatidão de pesagem deve corresponder ao discriminado na tabela B.1 da norma;
- d. imergir os corpos de prova verticalmente no recipiente cheio de água deionizada ou destilada, sem que eles entrem em contato entre si, conforme a figura B.2 da norma, de maneira a que o nível de água esteja 5 cm acima da face superior das placas;
- e. manter o nível de água durante todo o ensaio, aquecendo a água até a fervura, mantendo-a em ebulição durante 2 horas.

⁵⁸ No caso de ensaio com azulejos, cada corpo de prova ou amostra corresponde a um único azulejo. (NOTA DA AUTORA)

A figura 33 ilustra as etapas **d** e **e** respectivamente.



Figura 33 – fotos das etapas **d** e **e**, respectivamente, do ensaio de absorção de água por fervura

(fonte adaptada de PIMENTA e CASCUDO, 2011)

- f. remover a fonte de aquecimento e colocar os corpos de prova sob circulação de água, a temperatura ambiente, a fim de que as amostras entrem em equilíbrio;
- g. com uma camurça ligeiramente úmida, enxugar suavemente a superfície dos corpos de prova;
- h. imediatamente após esse processo, pesar cada placa e verificar a exatidão de pesagem, conforme a tabela B.1 da norma, obtendo-se dessa forma a massa (m_2) do material saturado.

A absorção de água (A_{bs}) é expressa percentualmente pela fórmula (1):

$$A_{bs} = ((m_2 - m_1) / m_1) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde,

A_{bs} - valor de absorção de água (%);

m_1 - massa seca (g);

m_2 - massa saturada (g).

6.1.4 Absorção de Água ao Longo do Tempo ou Absortividade

Este ensaio tem por finalidade o monitoramento da variação de massa dos corpos de prova, ao longo do tempo.

A absorvidade não é normatizada no Brasil, no entanto, os trabalhos aqui analisados que executaram este procedimento, seguiram etapas muito similares:

- a. secar os corpos de prova na estufa a temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, até que atinjam massa constante;
- b. recolocar os corpos de prova no dessecador com sílica gel ou outro dessecante apropriado, até atingir a temperatura ambiente;
- c. determinação, através do uso de uma balança de precisão, da massa seca (m_1) de cada corpo de prova;
- d. colocar os corpos de prova no interior de um recipiente metálico contendo água destilada;
- e. passar suavemente uma flanela sobre a superfície do corpo de prova, a fim de retirar possível excesso de água;
- f. pesar os corpos de prova a cada minuto durante 10 minutos, determinando a massa saturada (m_2) de cada amostra;
- g. após o período inicial de 10 minutos, pesar os corpos de prova aos 15, 20, 30, 45, 60, 90 e 120 minutos, obtendo-se dessa maneira novos valores de massa saturada (m_2);
- h. com os dados coletados, calcular a absorção de água (A_{bs}) em percentagem, de cada um dos tempos anteriores, através da fórmula (1).

6.1.5 Absorção de Água por Capilaridade

Materiais de construção como argamassas e azulejos, são porosos e passíveis de absorverem fluidos. A absorção de água pode acontecer de duas formas: devido à pressão hidráulica associada a imersão e por capilaridade.

Na absorção por capilaridade, segundo Páscoa (2012, p. 12), normalmente há apenas uma face em contato com a água, no caso dos azulejos seria a face não vidrada, ou seja, o tardo. A absorção então desenvolve-se por fenômenos de sucção, em sentido contrário ao da gravidade.

Importância do uso de argamassas de cal na restauração de fachadas compostas por azulejos fabricados no final do século XIX e início do século XX.

Em Portugal, aplica-se o ensaio de absorção de água por capilaridade, normatizado pela EN 1015-18:2002⁵⁹, para análise da absorção de água em azulejos. Entretanto, verificou-se em praticamente todos os trabalhos analisados, que foram necessárias algumas adaptações ao que regia a norma. Sendo assim, não serão aqui listadas as etapas do procedimento da execução desse ensaio a partir do que especifica a norma europeia.

O ensaio consiste na pesagem, ao longo do tempo, de várias amostras de azulejos cuja face cerâmica é mantida permanentemente em contato com a água. Utiliza-se um recipiente com água e um material geotêxtil, o qual serve de apoio para o azulejo estudado, assegurando assim que a amostra possua apenas um de seus lados em contato com a água de maneira uniforme. A figura 34 ilustra esta etapa do ensaio.



Figura 34 – recipiente com amostra apoiada em material geotêxtil e imersa em água

(fonte: MARTINS, 2009, p. 26)

Na absorção de água por capilaridade, é gerado um coeficiente de capilaridade (C) [kg/m².min^{0,5}] específico para cada amostra de material poroso hidrófilo, que corresponde à análise do gráfico que expressa em ordenadas a quantidade de água absorvida por unidade de área da superfície do corpo de prova [kg/m²], e em abcissas a raiz quadrada do tempo decorrido [t^{0,5}].

O coeficiente de capilaridade representa a velocidade com que a água é inicialmente absorvida pela amostra, sendo obtida através da fórmula (2) abaixo:

$$C = ((m_2 - m_1) / A_a \sqrt{t}) \cdot 10^3 \quad (2)$$

Onde,

⁵⁹ COMITE EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **EN 1015-18**: *methods of test for mortar for masonry - part 18: determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar*. Bruxelas, 2002.

C - coeficiente de capilaridade ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$);

m_1 - massa seca (g);

m_2 - massa após absorção de água por capilaridade (g);

A_a - área da amostra em contato com a água (mm^2)

t - tempo de ensaio (min).

A partir desse ensaio, analisa-se outro parâmetro igualmente importante. Trata-se do valor assintótico da curva do gráfico descrito acima, indicando a quantidade de água que será absorvida em períodos de longa exposição à origem da umidade. (PÁSCOA, 2012)

6.1.6 Permeabilidade ao Vapor de Água

A finalidade deste ensaio é o conhecimento da facilidade de transporte do vapor de água através do material poroso. Este conhecimento é muito importante para se aferir a capacidade de secagem do material. Quanto maior a permeabilidade ao vapor de água, mais rápido ocorrerá a evaporação da umidade do material.

Define-se permeabilidade ao vapor de água de um material π como a quantidade de vapor que atravessa a unidade de superfície por espessura unitária desse material, por unidade de tempo e quando a diferença de pressões entre as duas faces do material é também unitária (em $\text{kg/m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$). Para materiais que são usados com espessuras constantes usa-se frequentemente a noção de permeância π/e definida como o quociente da permeabilidade pela espessura em causa (em $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$). (Risco de Ocorrência de Condensações – Método de Glaser⁶⁰)

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água em Portugal é normatizado pela norma EN 1015-19⁶¹. Este ensaio necessitou ser modificado, a fim de atender as condições físicas das amostras analisadas. Sendo assim, o procedimento abaixo descrito, corresponde ao executado pelo autor da pesquisa:

⁶⁰ http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1142__MetodoGlaser.pdf

⁶¹ COMITE EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **EN 1015-19**: *methods of test for mortar for masonry - part 19: determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars*. Bruxelas, 1998.

- a. preenche-se o interior de um recipiente com água destilada;
- b. coloca-se o azulejo a ser analisado por cima do recipiente, com a face cerâmica em contato com a fronteira superior do recipiente;
- c. é necessário isolar as laterais do azulejo que estão em contato com a fronteira superior do recipiente, utilizando, como no ensaio, cera de abelha (50%) e pez louro⁶² (50%) como isolantes;

A figura 35 mostra o conjunto formado pelo azulejo e recipiente devidamente isolados com a cera de abelha e o pez louro.



Figura 35 – conjunto azulejo e recipiente vedado com cera de abelha e pez louro

(fonte: MARTINS, 2009, p. 27)

- d. coloca-se o conjunto amostra e recipiente com água destilada, em uma câmara a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ de temperatura e $(50 \pm 5)\%$ de umidade relativa;
- e. o conjunto foi pesado em intervalos de 24 horas durante 15 dias úteis.

Conforme Martins (2009, p. 27), a permeabilidade ao vapor de água é dada pelo valor médio da permeância (Λ) multiplicado pela espessura da amostra, de acordo com a fórmula (3) abaixo:

$$\Lambda = 1/(((A \Delta p)/(\Delta G/\Delta t)) - R_A) \quad (3)$$

Onde,

Λ - valor de permeância ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$);

A_P - área da zona aberta do recipiente (m^2);

⁶² Pez Louro é a parte sólida da resina extraída do pinheiro (*site* Costa e Irmãos).

Δp - diferença de pressão em vapor de água, entre o ambiente e a solução salina (Pa);

$\Delta G/\Delta t$ - o fluxo de vapor (kg/s);

R_A - resistência ao vapor de água da camada de ar entre a solução salina e a parte da amostra em contato com a água destilada ($0,048 \times 10^9$ Pa.m².s/kg para cada 10 mm de camada de ar).

A espessura de ar de difusão equivalente é determinada pela fórmula (4),

$$S_D = (195/\Lambda) - 0,01 \quad (4)$$

Onde,

S_D - espessura de ar de difusão equivalente (m).

6.1.7 Porosidade Aberta ou Aparente

Os materiais porosos, a exemplo dos revestimentos cerâmicos, são assim denominados pelo fato de possuírem poros, que se constituem em pequenos vazios ocupados por ar, água ou vapor de água. Conforme Páscoa (2012, p. 13), esses poros podem se apresentar interligados formando uma rede contínua de vazios conhecida como porosidade aberta. É por essa rede interna que os fluídos são transportados.

Se os poros estiverem de forma dispersa, não haverá uma rede de comunicação entre eles e dessa forma a porosidade será fechada. A figura 36 ilustra a situação interna do material, quanto à porosidade aberta e fechada, respectivamente.

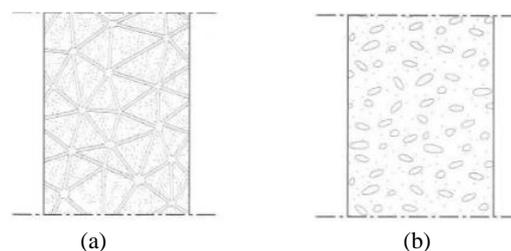


Figura 36 – porosidade aberta (a) e porosidade fechada (b)

(fonte: FREITAS et al.⁶³, 2008 apud PÁSCOA, 2012, p. 13)

⁶³ FREITAS, V.; TORRES, M.; GUIMARÃES, A. **Humidade Ascensional**. 106 p. Porto, Portugal: FEUP edições, 2008.

Ainda de acordo com Páscoa (2012, p. 13), “a maioria dos materiais de construção possui porosidade aberta permitindo a circulação de água no seu interior, sendo a dimensão e a geometria dos poros os fatores que influenciam a permeabilidade do material.”.

A porosidade aberta corresponde a relação entre o volume máximo possível de água absorvida e seu volume total.

Segundo Botas et al. (2012), o ensaio de porosidade aberta baseia-se na união dos resultados de três pesagens: a amostra seca, pesagem em imersão e pesagem com a amostra saturada de água. O resultado final é obtido através de diferenças de massas, em percentagem.

6.2 ANÁLISE DOS DADOS

Neste capítulo estão dispostos os dados de cada pesquisa, pertinentes aos ensaios efetuados nos três grupos de azulejos analisados: os antigos, fabricados no final do século XIX e início do século XX; as réplicas, produzidas para uso em obras de restauração e os azulejos novos, estes dois últimos grupos fabricados tanto no Brasil quanto em Portugal.

A partir das informações coletadas, serão analisados alguns dos itens fundamentais na caracterização de um azulejo: composição mineralógica, porosidade e capacidade de absorção de água.

As pesquisas aqui apresentadas, os ensaios efetuados, o tipo de azulejo pesquisado e finalmente os dados gerados foram relacionados a partir de tabelas, visando um melhor entendimento.

6.2.1 Quanto à Composição Química e Mineralógica

Na tabela 1, estão apresentados os dados do trabalho de mestrado de Japiassú (2011) correspondentes ao ensaio de difração de raios X em amostras de azulejos antigos da cidade de Ovar e no azulejo de marca Incepa⁶⁴, produzido no Brasil em 1979 e que representa, nesse trabalho, o grupo das réplicas.

⁶⁴ Incepa Revestimentos Cerâmicos (NOTA DA AUTORA).

Tabela 1 – identificação mineralógica dos azulejos de acordo com sua predominância

PESQUISA	ANTIGOS					CASO 01		
	Identificação mineralógica	Composição química	Caso 1	Caso 2	Caso 3			
JAPIASSÚ, 2011	Quartzo	SiO ₂	p	p	p		ANT_PT-VO	
	Gehlenita	Ca ₂ Al ₂ SiO ₇	p	p	p			
	Diopsídio	CaMg(SiO ₂) ₂	s	p	p			
	Plagioclásio (anortita e albita)	[(NaSi), (CaAl)] AlSi ₂ O ₂	s	s	s		ANT_PT-DAS	
	Calcita	CaCO ₃	s	s	s			
	Espinélio	MgAl ₂ Cr ₂ O ₄	---	---	---			
	Wollastonita	CaSiO ₃	t	---	---		ANT_PT-SO	
	Grossular	Ca ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂	---	t	---			
	Mullita	Al ₆ Si ₂ O ₁₃	---	---	t			
	Eitelita	Na ₂ Mg(CO ₃) ₂	---	---	t			
	Legenda: ■ Principal (p) ■ Subordinado (s) ■ Traço (t) ---Sem presença							
	RÉPLICA							
	Identificação mineralógica	Composição química	Azulejo BR-ARE-A1				Azulejo BR-ARE-A1	
Quartzo	SiO ₂	p				Azulejo BR-ARE-A1		
Plagioclásio (anorthita e albita)	[(NaSi), (CaAl)] AlSi ₂ O ₂	s						
Cristobalita	SiO ₂	s						
Diopsídio	CaMg(SiO ₂) ₂	t						
Gehlenita	Ca ₂ Al ₂ SiO ₇	t						
Calcita	CaCO ₃	t						
Legenda: ■ Principal (p) ■ Subordinado (s) ■ Traço (t)								

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 106)

Segundo Silva, C. P. et al. (2006), a presença em amostras de azulejos, de equivalentes minerais de anortita, gehlenita, diopsídio e wollastonita, cuja formação acontece após a quebra da estrutura da calcita, do quartzo e de um argilomineral (provavelmente a caulinita), indica que tais amostras foram sujeitas a uma temperatura de queima superior a 1000°C. Já os equivalentes minerais de mullita, cristobalita e tridimita, indicam uma matéria-prima composta basicamente por caulinita e quartzo. Silva, C. P. et al. (2006) citando Santos⁶⁵ (1989), explica que essas fases são originadas a partir de um aumento de temperatura a partir dos 1000°C para a caulinita e a tridimita e a partir de 1200°C para a cristobalita.

De acordo com Japiassú (2011) a gehlenita, wollastonita, diopsídio e plagioclásio (anortita e albita) são compostos comumente encontrados na composição de azulejos antigos, outros autores também já os identificaram. Ainda segundo a autora, estes compostos resultam da desestruturação das matérias-primas (provavelmente o quartzo, a calcita e algum argilomineral) durante o processo de queima na produção dos azulejos.

A presença de mullita e espinélio indica o uso da caulinita como matéria-prima, sendo que, a identificação apenas da mullita, sem cristobalita, pode indicar temperaturas de queima em torno de 1000°C, não excedendo os 1200°C.

⁶⁵ SANTOS, P. de S. *Ciência e Tecnologia de Argilas*. v.3. São Paulo, Brasil: Ed. Edgard Blücher, 1989.

Na composição mineralógica da amostra da réplica para reposição nas fachadas, verifica-se a presença da cristobalita. Segundo Japiassú (2011) citando Van Vlack⁶⁶ (1973), o quartzo transforma-se em tridimita entre 875°C e 1470°C e em seguida, esta é transformada em cristobalita entre 1470°C e 1710°C. Sendo assim, a presença da cristobalita na composição de um azulejo, indica um processo de queima a partir de 1470°C.

Em relação à calcita, presente em boa parte das análises de azulejos antigos, Japiassú (2011) explica que pode estar relacionada com a penetração da argamassa de cal no tardo do azulejo. De acordo com Japiassú (2011) citando Van Vlack (1973), não há a possibilidade de a calcita estar presente como matéria-prima do azulejo, uma vez que nas temperaturas usualmente utilizadas na produção desses revestimentos, a calcita se transformaria em óxido de cálcio.

Sendo assim, pode-se deduzir do exposto acima, que as amostras de azulejos antigos de Ovar, foram produzidos a partir de temperaturas em torno de 1000°C, não passando dos 1200°C, enquanto que a réplica brasileira, foi produzida em temperaturas a partir de 1470°C.

Conforme já comentado, o tipo de minerais presente no azulejo afeta as características porométricas da placa cerâmica. Quanto maior a temperatura de queima dos compostos químicos, menor será a porosidade e conseqüentemente a absorção de água pelos azulejos.

Na tabela 2, estão dispostas amostras de azulejos produzidos no final do século XIX e início do século XX, provenientes de Portugal, Alemanha e França, caracterizados quanto à composição mineralógica e quanto à absorção de água.

⁶⁶ VAN VLACK, L. H. **Propriedades dos Materiais Cerâmicos**. São Paulo, Brasil: Ed. Edgard Blücher, 1973.

Tabela 2 – composição mineralógica e absorção total de água dos azulejos, de acordo com sua procedência

Amostras	Procedência	Resultados da Difração	Absorção em Água
			(%)
P1- BIS	Portugal	quartzo, anortita, calcita, gehlenita, diopsídio	18,08
P2- BIS	Portugal	quartzo, calcita, diopsídio, gehlenita, wollastonita	17,82
P3- BIS	Portugal	quartzo, calcita, diopsídio, gehlenita, cristobalita	18,57
P4i- BIS	Portugal	quartzo, diopsídio, calcita, gehlenita, anortita	27,94
P4ii- BIS	Portugal	quartzo, diopsídio, calcita, anortita, tridimita, gehlenita.	23,46
P5- BIS	Portugal	quartzo, calcita, gehlenita, diopsídio, cristobalita.	15,22
P6- BIS	Portugal	quartzo, wollastonita, gehlenita, diopsídio.	27,58
P7- BIS	Portugal	quartzo, calcita, diopsídio, gehlenita.	17,83
P8- BIS	Portugal	quartzo, calcita, mullita, diopsídio	16,11
P9- BIS	Portugal	quartzo, gehlenita, wollastonita, calcita, diopsídio.	19,17
P10- BIS	Portugal	quartzo, gehlenita, Wollastonita.	29,79
P11- BIS	Portugal	quartzo, calcita, gehlenita, wollastonita.	23,00
P12- BIS	Portugal	quartzo, anortita, diopsídio, gehlenita, wollastonita	19,50
P13- BIS	Portugal	quartzo, calcita, diopsídio, cristobalita, gehlenita.	17,40
P14- BIS	Portugal	quartzo, mullita, diopsídio.	20,88
P15- BIS	Portugal	quartzo, tridimita, gehlenita, wollastonita.	19,22
A1- BIS	Alemanha	quartzo, mullita, cristobalita.	6,77
A2- BIS	Alemanha	quartzo, mullita, cristobalita.	9,70
F1- BIS	França	quartzo, mullita, cristobalita.	14,58

(fonte adaptada de SILVA, C. P. et al., 2006)

É possível verificar ao analisar a tabela 2, que os azulejos compostos por cristobalita e que, consequentemente foram produzidos a partir de temperaturas acima de 1470°C, possuem taxas de absorção de água mais baixas.

Como mais um exemplo de que a porosidade e a absorção de água pelo azulejo estão diretamente relacionadas com a temperatura de queima de seus compostos minerais, a tabela 3 apresenta uma lista de amostras de azulejos com seus minerais constituintes, produzidos em Portugal, Inglaterra e Alemanha em diferentes épocas.

Tabela 3 – composição mineralógica e porosidade de diversas amostras de azulejos

Amostras	Século	Procedência	Resultado da Difração	Porosidade (%)	Densidade (g/cm ³)
B1-A	XIX	Alemanha	quartzo, mulita, cristobalita, calcita, anortita	11,50	1,90
B1-B	XIX	Portugal	quartzo, calcita, hematita (traços), gehlenita, diopsídio, cristobalita (traços)	24,42	1,60
B2-A	XIX	Alemanha (provável)	quartzo, mulita, cristobalita (traços)	9,88	2,06
B2-B	XIX	Alemanha (provável)	quartzo, mulita, cristobalita (traços)	10,46	1,87
B3	XIX	Inglaterra (provável)	quartzo, mulita, cristobalita	9,32	1,98
B4	XIX	Inglaterra (provável)	quartzo, mulita, cristobalita, calcita	12,04	1,94
B5	XIX	Portugal	quartzo, calcita, anortita, hematita, gehlenita, wollastonita	16,78	1,70
B6	XIX	Portugal	quartzo, calcita, anortita, hematita, gehlenita, wollastonita	16,37	1,69
B7	XIX	Holanda	quartzo, calcita, anortita, hematita, gehlenita, wollastonita	17,77	1,58
S1-A	XVI	Espanha	quartzo, calcita, anortita, hematita, gehlenita, diopsídio	28,90	1,39
S1-B	XVII	Portugal	quartzo, calcita, hematita, gehlenita, cristobalita	42,39	1,12
S1-C	XIX	Portugal	quartzo, calcita, anortita, hematita, gehlenita, diopsídio	18,21	1,68
S1-D	XIX	Alemanha	quartzo, calcita, anortita, hematita, mulita	27,84	1,84
S2	XVII	Portugal	quartzo, calcita, hematita, gehlenita, wollastonita, diopsídio	19,90	1,61
S3	XVII	Portugal	quartzo, calcita, hematita, gehlenita	19,13	1,55
S4	XVII	Portugal	quartzo, calcita, anortita, hematita, gehlenita, wollastonita, diopsídio	21,58	1,56
S5	XIX	Portugal	quartzo, calcita, anortita, hematita, gehlenita, diopsídio	18,45	1,64
S6-A	XIX	Alemanha	quartzo, calcita, anortita, hematita, mulita (traços)	13,93	1,84
S6-B	XVII	Portugal	quartzo, calcita, hematita, gehlenita, diopsídio	18,76	1,62
S6-C	XIX	Inglaterra (provável)	quartzo, mulita, cristobalita, calcita	13,50	1,90

(fonte: SANJAD *et al.*, 2004)

Na tabela 4, as amostras dispostas na tabela 3, foram separadas em grupos, de acordo com suas possíveis temperaturas de queima durante a fabricação, evidenciando a relação da taxa de porosidade com a temperatura.

Tabela 4 – agrupamento de amostras de acordo com a sua mineralogia

Grupos	Amostras	Características da matéria-prima (argila)	Temperatura de queima
1	B2-A, B2-B, B3	Mineralogia básica: argilomineral (provavelmente caulinita) e quartzo. Na amostra B1-A houve adição de carbonato (fundente), conforme indica a anortita, que resulta da reação entre a caulinita e a calcita. A calcita (B4, S6-C e B1-A) pode resultar da migração pelos poros do material do hidróxido de cálcio da argamassa de assentamento, ou da carbonatação do CaO não combinado durante a cozedura.	1200 - 1728°C
	B4, S6-C		
	B1-A		
2	B5, B6, B7	Mineralogia variada, formada principalmente por argilominerais (provavelmente a caulinita), quartzo, calcita e/ou dolomita, e hematita ou goethita.	900 - 1200°C
	S1-A, S1-C, S5		
	S6-B		
	S2		
	S3		
3	S4	Mineralogia variada, com argilomineral (provavelmente a caulinita), quartzo, calcita e/ou dolomita e hematita ou goethita.	1200 - 1565°C
	S1-B		

(fonte: SANJAD *et al.*, 2004)

Além da investigação sobre o conhecimento da maior ou menor capacidade de absorção de água dos azulejos, a composição mineralógica e química das placas cerâmicas são importantes no mecanismo de aderência azulejo/argamassa. Segundo Simões (2011), citando os autores Ozkahraman e Isik (Ozkahraman e Isik,⁶⁷ 2005) é possível relacionar a força de adesão com a composição mineralógica e química dos azulejos e da argamassa. “Os mesmos autores inferiram que elevadas percentagens de quartzo ou sílica no azulejo e a presença de cálcio na argamassa aumentavam a força de adesão entre os dois materiais.” (SIMÕES, 2011, p. 44).

As amostras presentes na tabela 2 foram analisadas quimicamente, gerando a tabela 5 abaixo. Nesta tabela, o código A1 e F1 correspondem aos azulejos originários da Alemanha e da França, respectivamente, o código P4ii representa as amostras de Portugal.

Tabela 5 – análise química total das amostras de acordo com a sua procedência

% de Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	TiO ₂	P ₂ O ₅	P.F	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO
Amostra A1	74,08	19,12	0,54	0,34	<0,01	0,87	2,40	1,34	0,48	0,15
Amostra F1	71,54	22,37	0,77	0,68	<0,01	0,74	0,26	2,12	0,21	0,34
Amostra P4ii	46,38	17,02	3,64	0,73	<0,11	2,75	0,74	2,43	22,96	3,24

(fonte: SILVA, C. P. et al., 2006)

De acordo com Sanjad et al. (2004), as amostras alemãs e francesas possuem alto teor de SiO₂ e Al₂O₃, evidenciando a utilização de uma matéria-prima mais pura. Já a amostra representativa de Portugal possui, além de SiO₂ e Al₂O₃, um alto teor de CaO (22,96%), muito utilizado como fundente, indicando também a presença de outros compostos químicos como carbonatos e óxidos e/ou hidróxidos de ferro.

Na tabela 6 consta a composição química de amostras de alguns azulejos antigos da cidade de Ovar e de réplicas fabricadas em Portugal, onde se percebe o aumento na percentagem de sílica dos azulejos correspondentes às réplicas.

⁶⁷ OZKAHRAMAN, H. T.; ISLK, E. C. *The Effect of Chemical and Mineralogical Composition of Aggregates on Tensile Adhesion Strength of Tiles*. **Construction and Building Materials**, v. 19, n. 4, 2005. 251-255 p.

Tabela 6 – composição química de azulejos antigos e réplicas produzidas em Portugal

PESQUISA	AMOSTRAS		Composição Química										
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	L.O.I.
SIMÕES, 2011	ANTIGOS	 	44,09%	16,22%	3,44%	0,03%	3,27%	24,52%	0,55%	1,57%	0,86%	0,15%	4,03%
		ANT_PT-CCB											
		 	50,31%	20,49%	3,37%	0,04%	2,19%	19,31%	-	1,72%	1,02%	0,15%	1,53%
		ANT_PT-SJO											
	 	44,41%	16,45%	3,09%	-	1,86%	26,18%	0,32%	1,39%	0,73%	0,19%	4,75%	
		ANT_PT-MO											
	AMOSTRAS		Composição Química										
	RÉPLICAS		57,85%	21,27%	1,52%	0,01%	4,89%	11,93%	0,28%	1,30%	0,53%	0,06%	0,02%
		REP_PT-AZUP											
		68,82%	19,21%	1,22%	0,02%	0,29%	6,56%	0,88%	2,06%	0,33%	0,09%	0,09%	
REP_PT-HCER													
	67,61%	18,50%	1,15%	0,03%	1,47%	7,28%	0,90%	2,12%	0,30%	0,15%	0,07%		
	REP_PT-PVIC												

(fonte adaptada de SIMÕES, 2011)

6.2.2 Quanto à Absorção de Água e Porosidade

Como já foi mencionado, a capacidade de absorção de água, a densidade e o tamanho dos poros das placas cerâmicas desempenham importante função no mecanismo de aderência entre o azulejo e a argamassa de assentamento. Sendo assim, é fundamental o conhecimento de tais informações, a fim de se planejar formas eficientes e eficazes de intervenção durante a restauração, contemplando não só a recuperação da fachada, com o reassentamento de azulejos originais e/ou réplicas, mas também a proteção do imóvel contra a degradação pela umidade.

Na tabela 7 e no gráfico da figura 37, estão apresentados os valores relativos ao ensaio de absorção de água por capilaridade, oriundos de pesquisa realizada em Portugal. Observa-se que o valor assintótico de absorção de água, que equivale a quantidade máxima de água que o material consegue absorver por capilaridade, das amostras de Ovar ultrapassa os 2,50 kg/m². Já no caso das réplicas, varia entre 1,92 e 2,29 kg/m².

Tabela 7 – ensaio de absorção de água por capilaridade e porosidade aberta em azulejos

PESQUISA	AMOSTRAS	ENSAIO			
		Coefficiente de Capilaridade (kg/m ² .h ^{0,5})	Valor Assintótico da Absorção Capilar (kg/m ²)	Porosidade Aberta (%)	
BOTAS, et al., 2012	ANTIGOS	 ANT_PT_AZA1	10,37	3,28	40,01
		 ANT_PT_AZA2	9,13	2,87	37,51
		 ANT_PT_DAS	8,43	2,59	36,41
	RÉPLICAS	 REP_PT_AZUP	6,03	1,92	32,21
		 REP_PT_HCER	7,44	2,29	30,31
		 REP_PT_PVIC	6,04	1,97	25,92
	NOVOS	 NOVO_PT_VIDR	5,51	1,86	25,44
		 NOVO_PT_POR	0,17	0,04	0,91

(fonte adaptada de BOTAS et al., 2012)

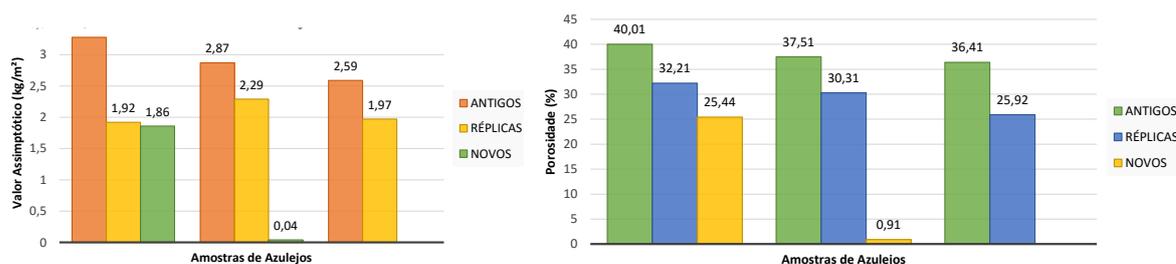


Figura 37 – valores assintóticos de absorção capilar e porosidade aberta das amostras de azulejos

(fonte adaptada de BOTAS et al., 2012)

As réplicas e o azulejo novo com superfície vidrada (NOVO_PT_VIDR) são, de acordo com a tabela 7, menos absorventes que os azulejos antigos, possuem também uma taxa de absorção inicial de água alta (coeficiente de capilaridade) e valores assintóticos próximos entre si, de acordo com o gráfico da figura 37. Em relação às réplicas, esse comportamento é esperado uma vez que suas características devem ser semelhantes aos azulejos originais, já com relação a amostra de azulejo novo, pode-se atribuir à matéria prima empregada na sua composição e a forma como foi produzido, o que varia de acordo com a marca utilizada.

A amostra de porcelanato ensaiada (NOVO_PT_POR) cuja característica de baixa absorção de água precisa ser alcançada durante a sua produção, resultou em valores esperados, assim como o coeficiente de capilaridade e o valor assintótico, muito aquém dos dados obtidos com os

outros azulejos. O autor refere também que este tipo de azulejo foi usado apenas como termo de comparação, pois é um material novo usado em obras contemporâneas.

A porosidade aberta, segundo Botas et al. (2012), está diretamente relacionada com o valor assintótico de absorção capilar, na medida em que um aumento da porosidade aberta do azulejo, leva a um aumento da água total absorvida. Nitidamente através da tabela 7 e do gráfico da figura 37, percebe-se que os azulejos antigos obtiveram maior percentagem de porosidade aberta ou aparente que os demais. Essa informação já era esperada, não apenas por causa da relação direta com o valor assintótico, mas também por causa da temperatura de queima durante a sua fabricação, que conforme análise anterior, é inferior a temperatura alcançada na produção atual.

A percentagem da porosidade aberta das réplicas está dentro do esperado, uma vez que, como já mencionado, estes revestimentos precisam apresentar características próximas das dos azulejos antigos. O porcelanato, mais uma vez, confirmou a sua condição de baixa absorção de água pela sua pequena percentagem de porosidade aberta.

Uma vez que os azulejos antigos possuem alta absorção de água, é importante conhecer a sua capacidade em facilitar a evaporação desta umidade. Na tabela 8 estão os dados obtidos a partir do ensaio de permeabilidade ao vapor de água, executado em Portugal, para as amostras de azulejos antigos das fachadas de Ovar.

Tabela 8 – ensaio de permeabilidade ao vapor de água em azulejos

PESQUISA	AMOSTRAS	ENSAIO	
		Permeância ao Vapor de Água (ng/m ² .s.Pa)	Espessura de Ar de Difusão Equivalente (m)
VALENTE, 2008	 ANT_PT-DAS	18,73	10,40
	 ANT_PT-CCB	10,92	17,84
	 ANT_PT-MO	9,36	20,81

(fonte adaptada de VALENTE, 2008)

Quanto maior a espessura da camada de ar de difusão equivalente, menos permeável é a amostra. Neste caso, o desgaste do azulejo interfere diretamente na permeabilidade, pois as amostras com lacunas de vidro ou mesmo sem o vidro, são mais permeáveis. Esse fato

pode explicar a variabilidade dos dados presentes na tabela 8, pois as amostras foram retiradas de fachadas com níveis diferentes de degradação.

É importante destacar o efeito nocivo que o aumento da permeabilidade do revestimento cerâmico causa na integridade da fachada como um todo: quanto mais permeável o azulejo, absorvendo uma maior quantidade de umidade do que deveria, maior a dificuldade de evaporação, propiciando a geração de algum tipo de manifestação patológica caso esse excesso de água não consiga sair do revestimento.

No Brasil, Japiassú (2011), executou ensaios de absorção de água e de porosimetria em amostras de azulejos antigos da cidade de Ovar e comparou com amostras de azulejo da marca Incepa, fabricado em 1979. A escolha desse azulejo foi devido à similaridade quanto à absorção de água, com as amostras antigas. Sendo assim, esse azulejo foi tratado como uma réplica, tanto na pesquisa em questão quanto no presente trabalho.

Através do ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio, foram obtidos os dados quanto à porosidade total e diâmetro médio dos poros. Japiassú (2011) explica que a porosidade total corresponde a quantidade de poros abertos preenchidos pelo mercúrio.

Na tabela 9, estão apresentadas as informações quanto ao ensaio de porosimetria. Nota-se que a amostra ANT_PT-DAS, deve possuir uma quantidade maior de poros conectados, uma vez que mesmo possuindo um diâmetro médio de poros menor (0,46 μm), sua porosidade total é semelhante à das demais amostras de azulejos antigos, cujos diâmetros médios de poros é mais que o dobro da referida amostra. A mesma situação não acontece com a réplica, que possui menor dimensão média de poros (0,43 μm) e menor porosidade total.

Tabela 9 – ensaio de absorção de água por fervera e porosimetria por intrusão de mercúrio em azulejos

PESQUISA	AMOSTRAS		ENSAIO			AMOSTRAS		ENSAIO		
			Absorção de Água por Fervera (%)	Diâmetro Médio dos Poros (μm)	Porosidade Total (%)			Absorção de Água por Fervera (%)	Diâmetro Médio dos Poros (μm)	Porosidade Total (%)
JAPIASSÚ, 2011	ANTIGOS	CASO 01 	26,50	0,96	48,0	RÉPLICA	Azulejo_BR-ARE-A1 	18,60	0,43	38,0
		ANT_PT-VO					REP_BR-ARE-A1			
		CASO 03 	23,70	0,97	43,0					
	ANT_PT-SO									
	CASO 02 	21,40	0,46	46,0						
	ANT_PT-DAS									

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011)

A absorção de água por fervura gerou os dados também apresentados na tabela 9. A partir dessas informações, constatamos mais uma vez a grande capacidade de absorção de água dos azulejos antigos e, como analisa a autora do trabalho, a similaridade da configuração dos poros desses azulejos, o que explicaria a proximidade entre os seus valores de absorção de água. A amostra de marca Incepa também possui uma boa capacidade de absorção, motivo pelo qual foi escolhida para figurar como réplica nesse trabalho.

Quanto ao ensaio de absorção de água ao longo do tempo, descrito no item 6.1 e executado por Japiassú (2011), a partir da análise da tabela 10 e da figura 38, comprova-se que as amostras da cidade de Ovar absorvem uma quantidade superior de água nos primeiros 5 minutos, especialmente no primeiro minuto. A estabilização da absorção ocorre a partir dos 10 minutos.

Tabela 10 – resultados médios de absorção ao longo do tempo para azulejos

PESQUISA		ANTIGOS																				
JAPIASSÚ, 2011	Tempo (minutos)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	45	60	90	120	CASO 01		
	Média por caso (%)	1	0	19	21	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23		
		2	0	12	15	16	17	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20	CASO 02	
		3	0	14	17	28	29	20	20	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22		
	Absorção média dos azulejos históricos (%)	0	15	18	19	19	20	20	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	CASO 03	
	RÉPLICA																				Azulejo BR-ARE-A1	
	Tempo (minutos)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	45	60	90	120			
	Absorção média (%)	0	13	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	REP_BR-ARE-A1	

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011)

A autora chama a atenção para o caso da amostra ANT_PT-VO, que possui uma absorção superior no primeiro minuto e uma estabilização precoce, quando comparada as outras duas amostras antigas. Segundo Japiassú (2011), esse fato se deve a maior quantidade de poros abertos desse azulejo (48%).

Com relação à réplica, é possível notar, de acordo com a tabela 10 e figura 38, que cumpre de forma eficiente a sua similaridade com os azulejos antigos, pois assim como os originais, ocorreu uma grande absorção de água no primeiro minuto. Porém, a taxa de absorção é menor do que a obtida para as amostras da cidade de Ovar, pois, de acordo com Japiassú (2011), este

comportamento está relacionado com uma menor quantidade de poros abertos na amostra da Incepa.

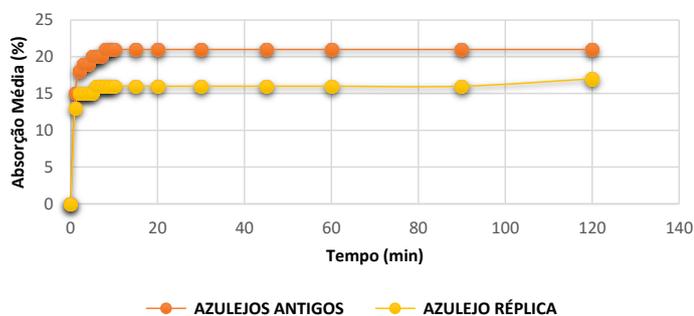


Figura 38- gráfico com os dados do ensaio de absorção de água ao longo do tempo dos azulejos

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011)

6.3 CONCLUSÕES PARCIAIS

Neste capítulo, serão destacados os pontos mais importantes a respeito do estudo dos azulejos antigos, a partir de figuras e tabelas representativas de cada questão abordada.

6.3.1 Quanto à Composição Química e Mineralógica

A partir dos ensaios de difração de raios X, verificou-se que os azulejos antigos eram produzidos a partir da combinação maioritária do quartzo (SiO_2), com outros minerais como a calcita (CaCO_3) e algum argilomineral como a caulinita. Além disso, constatou-se através da composição mineralógica, que a temperatura de queima dessas placas cerâmicas oscilava em torno de 1000°C não excedendo aos 1200°C .

Em contrapartida, a réplica produzida em 1979 no Brasil, também possui predomínio do quartzo, além da presença de outros minerais e da cristobalita, cuja formação só é possível em temperaturas entre 1470°C e 1710°C , indicando, portanto, a temperatura de queima dessa placa cerâmica.

A partir do conhecimento da temperatura de queima dos azulejos, é possível obter indícios a respeito da sua porosidade, pois, como comprovam as tabelas 3 e 4, a temperatura de queima está diretamente relacionada com a porosidade do material.

Analisando a tabela 5 e de acordo com Sanjad et al. (2004), verifica-se que os azulejos portugueses produzidos no final do século XIX e início do século XX, possuem além de SiO_2 e Al_2O_3 , um alto teor de CaO (22,96%), e diversos outros compostos minerais, diferente das amostras alemãs e francesas da mesma época, que possuem uma concentração maior de SiO_2 e Al_2O_3 com relação aos outros minerais, evidenciando a utilização de uma matéria-prima mais pura.

Segundo Simões (2011), citando os autores Ozkahraman e Isik (Ozkahraman e Isik,⁶⁸ 2005) é possível relacionar a força de adesão com a composição mineralógica e química dos azulejos e da argamassa. “Os mesmos autores inferiram que elevadas percentagens de quartzo ou sílica no azulejo e a presença de cálcio na argamassa aumentavam a força de adesão entre os dois materiais.” (SIMÕES, 2011, p. 44). Provavelmente devido a esta constatação, percebe-se na tabela 6, analisando os azulejos antigos e as réplicas produzidas em Portugal, que a quantidade de sílica (SiO_2) aumentou na composição dos azulejos.

6.3.2 Quanto à Absorção de Água e Porosidade

No item 6.2.2 foram analisados os vários ensaios executados a fim de uma melhor compreensão das características de absorção de água e porosidade dos azulejos antigos.

De acordo com as tabelas 7 e 9, nota-se que os azulejos antigos são mais porosos que as réplicas e os novos, comprovando a relação direta desta característica com a temperatura de queima, como demonstrado nas tabelas 3 e 4.

Além disso, conforme Botas et al. (2012), a estrutura porosa dos azulejos ensaiados possui diferenças entre si: os antigos apresentam grande concentração de poros oscilando em torno de $0,5 \mu\text{m}$ de raio, ou seja, possuem uma distribuição de poros com dimensões mais homogêneas. Já as réplicas e o novo (NOVO_PT-VIDR), apresentaram configuração porosa semelhantes: possuem maior heterogeneidade nas suas dimensões e concentração de poros com raio em torno de $0,7 \mu\text{m}$.

Uma vez que “ a absorção de água por capilaridade é afetada diretamente pela porosidade e pela dimensão dos poros do azulejo[...]” (BOTAS et al., 2012), deduz-se do exposto acima e das tabelas 7 e 9, que os azulejos antigos além de uma distribuição homogênea das dimensões

⁶⁸ OZKAHRAMAN, H. T.; ISLK, E. C. *The Effect of Chemical and Mineralogical Composition of Aggregates on Tensile Adhesion Strength of Tiles*. **Construction and Building Materials**, v. 19, n. 4, 2005. 251-255 p.

dos seus poros, também possuem grande quantidade dos mesmos com relação às réplicas e aos azulejos novos.

Quanto a permeabilidade ao vapor de água, as amostras ensaiadas, originárias de fachadas com níveis diferentes de degradação, apresentaram valores muito díspares, como pode ser observado na tabela 8, demonstrando o quanto essa propriedade é sensível às condições físicas da peça analisada.

No ensaio de absorção de água executado no Brasil (tabela 9), constatou-se a alta absorção dos azulejos antigos, em média 24%, contra 18,6% da réplica brasileira. Salientando que o azulejo analisado como réplica foi escolhido para este fim exatamente por possuir taxa de absorção de água superior aos seus contemporâneos.

Essa alta absorção verificada nas amostras de azulejos de Ovar, encontra ressonância com os dados resultantes do ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio. Neste ensaio, de acordo com a tabela 9, foi possível determinar o diâmetro médio dos poros dos azulejos antigos e da réplica.

Das três amostras correspondentes aos azulejos antigos, em duas (ANT_PT-VO e ANT_PT-SO) encontrou-se uma média de 0,96 μm de diâmetro médio dos poros. Na terceira amostra (ANT_PT-DAS), cujo diâmetro era de apenas 0,46 μm , a percentagem de absorção de água e de porosidade total mostrou-se muito próxima da das demais amostras, indicando um maior número de poros nessa amostra, fatos estes não verificados com a réplica.

No ensaio de absorção ao longo do tempo, as amostras da cidade de Ovar obtiveram alta taxa de absorção de água nos primeiros cinco minutos, principalmente no primeiro minuto, estabilizando a absorção a partir dos 10 minutos, conforme pode ser verificado na tabela 10 e na figura 38. Já a réplica brasileira, também absorveu muita água no primeiro minuto, porém em uma quantidade bem menor quando comparada aos azulejos antigos, e com estabilização da absorção mais rápida.

6.4 CONCLUSÃO

Finalizando o estudo dos azulejos antigos, serão aqui resumidas as principais considerações desenvolvidas ao longo do capítulo 6.

- a. O tipo de minerais presente no azulejo afeta as características porométricas da placa cerâmica: quanto maior a temperatura de queima dos compostos químicos, menor será a porosidade e conseqüentemente a absorção de água pelos azulejos.
- b. A presença do mineral mullita sem a cristobalita na composição dos azulejos antigos, indica temperaturas de queima em torno de 1000°C não excedendo os 1200°C. Porém, com as réplicas, verificou-se a presença da cristobalita na composição dos azulejos, sinalizando temperatura de queima a partir de 1470°C.
- c. Elevadas percentagens de quartzo ou sílica no azulejo e a presença de cálcio na argamassa favorecem o mecanismo de adesão entre estes materiais.
- d. Ao se comparar a composição química dos azulejos antigos da cidade de Ovar e de réplicas fabricadas em Portugal, constata-se o aumento na percentagem de sílica dos azulejos correspondentes às réplicas.
- e. Os azulejos antigos portugueses possuem, além de SiO_2 e Al_2O_3 , um alto teor de CaO (22,96%), muito utilizado como fundente, indicando também a presença de outros compostos químicos como carbonatos e óxidos e/ou hidróxidos de ferro. Já as amostras de azulejos franceses e alemães fabricados na mesma época, são mais puros, compostos por altas concentrações de SiO_2 e Al_2O_3 .
- f. A capacidade de absorção de água, a densidade e o tamanho dos poros das placas cerâmicas desempenham importante função no mecanismo de aderência entre o azulejo e a argamassa de assentamento.
- g. A absorção de água por capilaridade é afetada diretamente pela porosidade aberta e pela dimensão dos poros do azulejo.
- h. Entende-se por porosidade aberta ou relativa a relação entre o volume máximo possível de água absorvida e seu volume total.
- i. Os azulejos antigos apresentam uma estrutura porosa específica: além de uma distribuição homogênea das dimensões dos seus poros, também possuem grande quantidade dos mesmos com relação às réplicas e aos azulejos novos.

- j. O valor assintótico de absorção de água, que equivale a quantidade máxima de água que o material consegue absorver por capilaridade, das amostras de Ovar ultrapassa os $2,50 \text{ kg/m}^2$. Já no caso das réplicas portuguesas, varia entre $1,92$ e $2,29 \text{ kg/m}^2$.
- k. A porosidade aberta está diretamente relacionada com o valor assintótico de absorção capilar, na medida em que um aumento da porosidade aberta do azulejo, leva a um aumento da água total absorvida.
- l. O desgaste do azulejo interfere diretamente na permeabilidade, pois as amostras com lacunas de vidro ou mesmo sem o vidro são mais permeáveis, sendo que permeabilidade é a capacidade que certos materiais possuem de se deixar atravessar pela água ou outro fluido, de acordo com determinadas condições.
- m. A porosidade total ou absoluta é a relação entre o volume de vazios de um dado material e seu volume total. Os azulejos antigos apresentaram em média, taxa de 46% de vazios ou poros abertos contra 38% da réplica brasileira de marca Incepa.
- n. No ensaio de absorção de água ao longo do tempo, verificou-se que as amostras de azulejos da cidade de Ovar, absorveram uma quantidade superior de água nos primeiros 5 minutos, especialmente no primeiro minuto. A estabilização da absorção ocorreu a partir dos 10 minutos.
- o. No caso da réplica brasileira (marca Incepa), a exemplo dos azulejos antigos, também ocorreu uma alta absorção de água no primeiro minuto, entretanto, sua taxa de absorção é menor devido a uma quantidade reduzida de poros abertos (38%), se comparado aos antigos (46%).

7 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS ANTIGAS DE CAL

O conhecimento sobre a composição e traço das argamassas originais de um prédio de interesse histórico é quase sempre impreciso. Independente do esforço e dedicação empregues, aliados às técnicas avançadas de investigação e caracterização de materiais, será muito difícil alcançar a proporção e composição exata da argamassa estudada, pois além do fato das argamassas variarem na sua produção e técnicas de aplicação de acordo com a experiência construtiva de cada região, o fator tempo, responsável pela alteração das características e da trabalhabilidade dos materiais, não pode ser quantitativamente avaliado.

É fundamental que se continue investigando as argamassas antigas, no caso deste trabalho, as argamassas antigas à base de cal. A continuação dos estudos destes materiais, aumenta a probabilidade de eficiência e assertividade nas futuras intervenções na restauração das fachadas azulejadas, através do uso de argamassas que mantenham características compatíveis com as antigas que lá foram aplicadas.

Partindo desse princípio e a exemplo do que foi feito no capítulo anterior com os azulejos, as argamassas serão divididas em grupos correspondentes aos ensaios através de diferentes métodos. Cada capítulo, a partir deste, abordará as características de determinada argamassa e seu consequente mecanismo de aderência. Também serão utilizadas as informações quanto aos procedimentos e dados de ensaios realizados em pesquisas no Brasil e em Portugal.

Neste capítulo as argamassas ensaiadas estudadas serão as antigas, responsáveis pelo assentamento dos azulejos das fachadas da cidade de Ovar, em Portugal. No capítulo seguinte, analisar-se-ão as argamassas testadas com o objetivo de serem usadas como argamassas de restauração, ou seja, com propriedades similares às originais.

Antes da descrição sobre os ensaios realizados, é necessário um esclarecimento a respeito da cal utilizada nas argamassas antigas e seu processo de endurecimento.

7.1 O USO DA CAL NAS CONSTRUÇÕES

Conforme Coelho et al., (2009) há indícios do uso da cal em várias obras notáveis da humanidade, como nas pirâmides de Quéops e Quéfren, na Grande Muralha da China, na Via Ápia e no Coliseu, entre outros. Ainda segundo os autores, até o século XX, a cal associada a materiais pozolânicos ou ao gesso (introduzido na Europa, a partir da Península Ibérica pelos califados árabes no século XVIII) constituiu-se no aglomerado mais utilizado na história da construção civil.

A cal viva ou virgem (CaO), empregada na composição das argamassas antigas à base de cal, é um pó seco obtido da calcinação de calcários, formados na sua maioria por CaCO₃. Esta substância hidrata-se muito facilmente, dando origem a cal hidratada ou apagada (Ca (OH)₂) (SILVA, A., 2013).

A carbonatação da cal ocorre quando a cal apagada entra em contato com a atmosfera, reagindo com o CO₂ e gerando a cal carbonatada ou calcita (CaCO₃).

As explicações acima podem ser verificadas na reação (1) a seguir,



O endurecimento das argamassas à base de cal aérea ocorre, segundo Japiassú (2011) em duas fases. A primeira corresponde a contração de volume da pasta, devido a evaporação da água de amassamento. Esta contração de volume propicia sua consolidação e a liberação dos poros para a penetração do CO₂.

Na etapa seguinte, tem-se a reação de carbonatação, na qual o CO₂ reage com o hidróxido de cálcio (Ca (OH)₂) presente na argamassa gerando o carbonato de cálcio (CaCO₃), produto que confere à argamassa aumento de resistência mecânica. (JAPIASSÚ, 2011).

A figura 39 ilustra o ciclo da cal, destacando seus principais processos: a calcinação, a hidratação e a carbonatação com o consequente endurecimento da argamassa.

⁶⁹ CaCO₃ corresponde a cal cálcica, proveniente de calcários (Silva, A., 2013, p. 14)

⁷⁰ CaCO₃ corresponde a cal carbonatada ou calcita (Silva, A., 2013, p. 14)



Figura 39 – ciclo da cal aérea na argamassa

(fonte: *site* CALCINAÇÃO NOSSA SENHORA DA GUIA Ltda⁷¹.)

Uma vez que é necessário o contato com o CO_2 para que aconteça o endurecimento da cal aérea, esta não endurece debaixo da água, por isso a denominação “aérea”, contrapondo com a outra variedade, a cal hidráulica, que necessita da água para endurecer. (COELHO et al., 2009)

Coelho et al. (2009) comentam que ao adicionar-se água à cal, resulta uma pasta muito pouco permeável que vai endurecendo lentamente, de fora para dentro: a partir da reação de carbonatação, forma-se uma camada de CaCO_3 na superfície que impede a penetração do CO_2 dificultando a carbonatação das camadas mais internas, que permanecem frescas por muito mais tempo.

A figura 40 apresenta a microestrutura de duas amostras de argamassas à base de cal aérea, a primeira em processo de carbonatação com alguns cristais de CaCO_3 na superfície do agregado e a segunda coberta por cristais de CaCO_3 , indicando o avançado estado de carbonatação desta argamassa.

⁷¹ <http://www.calcinacaonsg.com.br/index.php?pg=interessante>

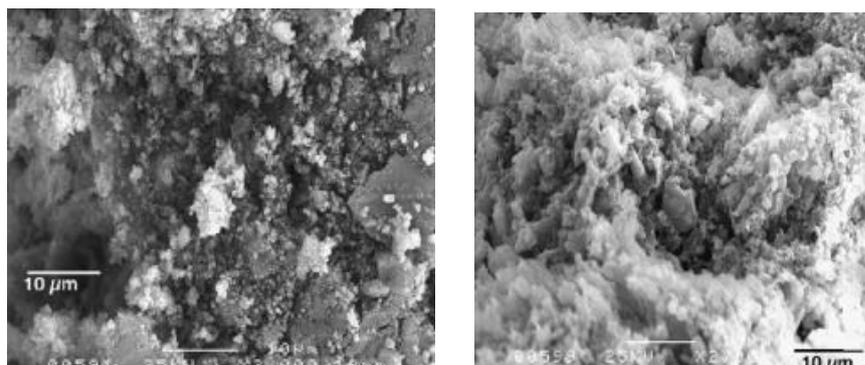


Figura 40 – microestrutura de duas amostras de argamassas de cal aérea

(fonte: LAWRENCE et al.⁷², 2007 apud COELHO et al., 2009, p. 70)

Em relação à função dos agregados na composição das argamassas de cal aérea, de acordo com Coelho et al. (2009), a carbonatação é uma reação exotérmica, com dilatação ligada à liberação de calor, podendo portanto causar fissuração por retração. “Daí a incorporação de areia, para reduzir a possibilidade de retração da pasta de cal apagada, dividindo-a em pequenas frações e permitindo a entrada do ar necessário para a carbonatação.” (COELHO et al., 2009, p. 70), sendo que esta areia deve ser siliciosa ou calcária, limpa, sem umidade e sem argila, pois conforme os autores, o endurecimento também acontece devido a reação do hidróxido de cálcio com a sílica.

Assim como salienta Coelho et al. (2009), é atribuído ao uso da cal hidratada várias vantagens, a saber:

A cal hidratada é um dos principais elementos das argamassas, porque promove benefícios para a edificação. Ela tem um excelente poder aglomerante, capaz de unir os grãos de areia das argamassas.

Por causa da sua elevada leveza e finura de seus grãos e consequente capacidade de proporcionar fluidez, coesão e retenção de água, a cal hidratada melhora a qualidade das argamassas. As suas partículas muito finas, ao serem misturadas com água, funcionam como um verdadeiro lubrificante, reduzindo o atrito entre os grãos de areia. O resultado é uma maior plasticidade da argamassa, proporcionando melhor trabalhabilidade e, consequentemente, maior produtividade, com a redução do custo do m³.

Além disso, permite também que as argamassas tenham maiores deformações, sem fissuração, do que teriam somente com cimento Portland. Outra propriedade importante, no estado fresco da cal, é a retenção de água por não permitir a sucção excessiva de água pelo suporte. Assim, as argamassas de cimento, contendo cal, retêm

⁷² LAWRENCE, R.; MAYS, T.; RIGBY, S.; WALKER, P.; D'AYALA, D. *Effects of Carbonation on the Pore Structure of Non-Hydraulic Lime Mortars: Cement and Concrete Research. University of Bath: Bath*. v. 37, 2007

mais água de amassadura e garantem resistência suficiente quanto à compressão e à aderência, tanto para assentamentos quanto para revestimentos.

Por ser um produto alcalino, a cal hidratada impede a oxidação nas ferragens e, também por ter essa característica, atua como agente bactericida e fungicida. Além disso, evita que se formem manchas e o apodrecimento precoce dos revestimentos; proporciona economia de tinta, pois permite acabamento mais liso e de cor clara; é compatível com qualquer tipo de tinta e outros acabamentos, como fórmica, lambris, papéis de parede, se respeitando o tempo mínimo de cura de 28 dias.

A adição de cal hidratada a argamassas de cimento reduz significativamente o módulo de elasticidade, sem afetar, na mesma proporção, a resistência à tração que, em última análise, é a máxima resistência de aderência da argamassa. Assim, as argamassas com cal absorvem melhor as pequenas movimentações das construções evitando, fissuras e até o levantamento (ou queda) dos revestimentos, aumentando a vida útil do revestimento.

7.2 ENSAIOS EXECUTADOS

Os ensaios abordados neste capítulo estão organizados de acordo com a figura 41.

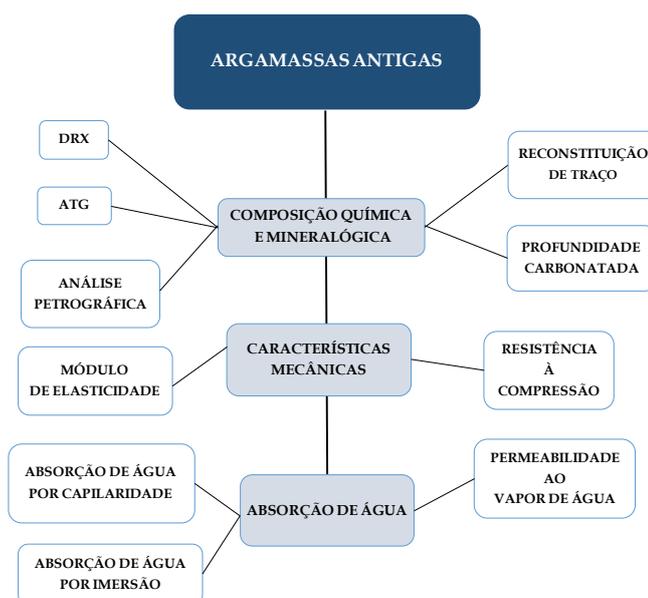


Figura 41 – organização dos ensaios executados nas amostras de argamassa antiga

(fonte elaborada pela autora)

Serão aqui analisados o trabalho de Japiassú (2011) desenvolvido em Goiás, Brasil, e os de Valente (2008) e Teixeira (2008), ambos da Universidade de Aveiro em Portugal.

As amostras utilizadas nos ensaios descritos nesses trabalhos correspondem às argamassas aderidas aos azulejos retirados das fachadas de casas da cidade de Ovar, em Portugal.

A fim de caracterizar as argamassas antigas em relação à sua composição química e mineralógica serão analisados os dados do ensaio de Difração de Raios X, complementados com a Análise Termogravimétrica, capaz de quantificar o aglomerante presente na amostra.

Os ensaios de resistência à compressão e do módulo de elasticidade, descritos no trabalho de Teixeira (2008), fornecerão informações acerca das características mecânicas das argamassas antigas.

Finalmente, a capacidade de absorção de água da argamassa antiga, será investigada através de ensaios de absorção de água por capilaridade e permeabilidade ao vapor de água.

7.2.1 Difração de Raios X (DRX)

Este ensaio, segundo Teixeira (2008), permite a obtenção de informações, em termos qualitativos, dos compostos cristalinos presentes na amostra de argamassa.

A finalidade do ensaio e sua metodologia, foram abordadas no item 6.1.1 na ocasião do ensaio das amostras de azulejos antigos. Nas argamassas antigas de cal analisadas, basicamente se manteve o mesmo procedimento anteriormente empregado.

O ensaio de difração de raios X desenvolvido para o trabalho de Japiassú (2011), foi realizado em Furnas⁷³ e no IPT através de procedimentos diferentes. Em Furnas, na primeira etapa, executou-se a Análise Integral do material representativo da argamassa. Em seguida, a parte argilosa foi separada, como descreve a autora, através de sedimentação, sendo então distribuída em três lâminas de vidro.

As lâminas secaram em atmosfera livre (Análise Natural), depois foram saturadas com etileno-gel em dessecador disposto sobre chapa aquecida a 50°C por 12 horas, para garantir, segundo Japiassú (2011, p. 89/90): “[...] a completa saturação da atmosfera interna e, assim, possibilitar a identificação dos argilominerais⁷⁴ expansivos, caso existissem.”.

Preparadas as lâminas, as mesmas foram ensaiadas através de dois procedimentos: A Análise Glicolada, que consiste no estudo feito no difratômetro de raios X logo após a retirada das lâminas do dessecador e a Análise Calcinada, na qual é executada uma calcinação da fração

⁷³ FURNAS Centrais Elétricas S.A. (NOTA DA AUTORA)

⁷⁴ Argilominerais são minerais presentes na composição das argilas (NOTA DA AUTORA).

argilosa a 550°C por 3 horas. Esta última análise tem por finalidade “[...] indicar a presença de minerais que passam por retração de sua estrutura em tais condições (caulinita, gibbsita, goethita entre outros).” (JAPIASSÚ, 2011, p. 90).

No IPT, o ensaio seguiu o procedimento que rege o CT-OBRAS-LMCC-P-PE 008⁷⁵ (Análise Mineralógica por Difractometria de Raios-X), utilizando como amostra o material passante na ABNT N° 100 (0,150 mm). (JAPIASSÚ, 2011)

No ensaio de DRX, presente nos trabalhos de Valente (2008) e Teixeira (2008), a metodologia aplicada foi similar à de Japiassú (2011), sendo que a amostra foi colocada a secar a baixas temperaturas e depois moída. A moagem ocorreu de modo a separar o material em duas frações: a primeira foi moída até que o conjunto se convertesse em pó e a segunda até que fosse possível obter grãos que passassem na peneira de 75 µm, a fim de possibilitar a análise da fração fina da argamassa.

No final do processo foram obtidas duas amostras, uma em pó correspondendo a todo o material constituinte da argamassa e a outra representativa apenas da fração fina.

7.2.2 Análise Termogravimétrica (ATG)

Conforme explica Valente (2008, p. 40), a análise térmica ou termogravimétrica “[...] fornece um termograma contínuo da variação de massa de um material em função da temperatura a que este é aquecido, através de aquecimento a velocidade constante.”. Através deste ensaio, é possível a verificação de uma curva chamada de termograma, das alterações químicas no material como desidroxilação⁷⁶, oxidação, carbonatação ou hidratação. Cada material analisado possui sua própria curva típica e, de acordo com Teixeira (2008), dessa maneira é possível a determinação da sua composição em termos quantitativos e qualitativos.

O intervalo de temperatura, no ATG, utilizado nos trabalhos de Valente (2008) e Teixeira (2008) situou-se entre 20°C e 1100°C, com uma taxa de aquecimento de 10°C/min. Em Japiassú (2011), o ensaio foi realizado no IPT, também com taxa de aquecimento de 10°C/min e temperatura variando até 1000°C.

⁷⁵ CT-OBRAS-LMCC, corresponde aos procedimentos normatizados pelo IPT (NOTA DA AUTORA).

⁷⁶ Desidroxilação ou desidratação (NOTA DA AUTORA).

7.2.3 Análise Petrográfica

A análise petrográfica foi analisada no trabalho de tese de mestrado de Japiassú (2011). O ensaio foi executado no IPT, utilizando o procedimento CT-OBRAS-LMCC-P-PE-001 (Análise Petrográfica), a partir da seguinte sequência:

- a. inicialmente impregnou-se à vácuo, com resina epóxi e corante azul, um pequeno corpo de prova de alguns centímetros, retirado da amostra inicial;
- b. em seguida, o corpo de prova foi seco em estufa a 60°C por 24 horas;
- c. após a secagem, conforme Japiassú (2011), o corpo de prova foi lixado e acomodado em lâmina de vidro, sendo posteriormente cortado na sua espessura, em torno de 2 mm;
- d. o material foi então desgastado e lixado até a espessura de 30 µm, coberto com lamínula de vidro e reservado para o estudo;
- e. as análises petrográficas foram “[...] executadas com o auxílio de uma lupa estereoscópica e de um microscópio petrográfico, [...] sob luz transmitida e ilustradas com fotomicrografias. A identificação dos minerais foi baseada nas suas características ópticas.” (Japiassú, 2011, p. 91).

7.2.4 Reconstituição de Traço

A exemplo da análise petrográfica, o ensaio para reconstituição de traço foi realizado, dentre os trabalhos aqui analisados, apenas na tese de Japiassú (2011).

O ensaio foi realizado no IPT e os constituintes percentuais da amostra, traços e relações aglomerante/agregado em massa, foram calculados a partir dos dados obtidos na análise química. Como informa Japiassú (2011), as referências apresentadas a seguir foram consideradas para a conclusão deste ensaio:

- a. umidade, perda ao fogo, resíduo insolúvel, anidrido silícico (SiO_2), óxidos de ferro e alumínio (R_2O_3), óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO) e anidrido sulfúrico (SO_3); através do procedimento CT-OBRAS-LMCC-Q-PE-042 (Concreto e Argamassa – Reconstituição de Traço);

- b. anidrido carbônico (CO₂), normatizado através da NBR-NM 20/09 (Cimento Portland e suas matérias primas – Análise química – Determinação de dióxido de carbono por gasometria) e Método de descarbonatação térmica (referência), item 6.2 regido pela CT-OBRAS-LMCC-Q-PE-011.

7.2.5 Profundidade Carbonatada

De acordo com Japiassú (2011) citando Lawrence⁷⁷ (2006), o método mais usual para avaliação da carbonatação consiste na pulverização com fenolftaleína de uma superfície recentemente fraturada da argamassa. A fenolftaleína é um indicador que muda de cor, de incolor para rosa em regiões com pH entre 8,3 e 10. Sendo assim, o aparecimento de uma mancha rosa na argamassa, significa que aquela área não foi carbonatada.

Ainda segundo Japiassú (2011, p. 95), Lawrence (2006) explica que “[...] o significado do aparecimento dessa área de cor rosa é que existe uma fronteira nítida entre o material carbonatado e o não-carbonatado. Da diferença entre essas regiões, é possível medir a profundidade de carbonatação.”.

Porém, Coelho et al. (2009) citando Agostinho⁷⁸ (2008) salienta que a utilização do indicador de fenolftaleína possui limitações na avaliação do grau de carbonatação em argamassas áreas, pois em alguns casos observados, apesar da indicação ser de superfície com total carbonatação, a resistência da argamassa continuava a aumentar, indicando que o processo de carbonatação ainda estava em curso.

7.2.6 Determinação do Módulo de Elasticidade (E)

O módulo de elasticidade foi determinado pelo método dos ultrassons (módulo de elasticidade dinâmico) realizado no trabalho de Teixeira (2008). O autor explica que devido a geometria irregular das amostras de argamassa, foi necessário separar o ensaio em duas etapas para a obtenção do módulo de elasticidade: Na primeira etapa considerou-se a distância percorrida pela sonda através da espessura média da amostra (medição transversal) e na segunda etapa foi levada em conta a distância percorrida pela sonda no sentido do comprimento médio da amostra

⁷⁷ LAWRENCE, R. M. H. *A Study of Carbonation in Non-hydraulic Lime Mortars*. 2006. 316 f. *Tesis (Doctor in Philosophy) – Department of Architecture and Civil Engineering, University of Bath, Bath, 2006.*

⁷⁸ AGOSTINHO, C. S. A. *Estudo da Evolução do Desempenho no Tempo de Argamassas de Cal Aérea*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa – IST, Lisboa, Portugal, 2008.

(medição longitudinal), como é possível verificar na figura 42. Também foi destacado que as dimensões das amostras correspondem a valores médios obtidos a partir de três leituras para cada dimensão.

Teixeira (2008) salienta que a informação fornecida pela máquina de ensaios corresponde ao tempo de percurso da onda ultrassônica (μs) na distância considerada entre sondas.



Figura 42 – determinação das dimensões das amostras de argamassas

(fonte: TEIXEIRA, 2008, p. 33)

As etapas pertinentes ao procedimento consistem em:

- a. calibração do aparelho de ensaios;
- b. colocação dos transdutores em pontos determinados da amostra;
- c. leitura do tempo de percurso da onda ultrassônica, segundo Teixeira (2008), foi necessário repetir esta etapa seis vezes devido a heterogeneidade das amostras;
- d. após a obtenção dos dados fornecidos pelo aparelho de ensaios, calculou-se a velocidade (v) da onda que percorreu a amostra;
- e. em seguida obteve-se a densidade das amostras;
- f. a constante (k), dependente do coeficiente de Poisson, foi calculada através da fórmula (5);
- g. o coeficiente de Poisson (ν) considerado foi de 0,2;
- h. finalmente, a partir da fórmula (6) foi possível calcular o módulo de elasticidade.

$$K = ((1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)) / ((1 - \nu)) \quad (5)$$

$$E = k \cdot v^2 \cdot \text{densidade} \quad (6)$$

Onde,

E - módulo de elasticidade (MPa);

ν - coeficiente de Poisson;

k – constante dependente de ν ;

v – velocidade da sonda (km/s).

7.2.7 Resistência à Compressão

A resistência à compressão das amostras de argamassas antigas também foi ensaiada para a tese de mestrado de Teixeira (2008).

O autor destaca que por causa do formato irregular das amostras, houve a necessidade de criar um mecanismo que viabilizasse os ensaios. A solução idealizada consistiu no uso de duas placas de dimensões 4 cm x 4 cm x 1 cm, de argamassa de cimento de traço volumétrico 1:3 no meio das quais foi acomodada a amostra a ser analisada, conforme a figura 43.



Figura 43 – preparo da amostra para o ensaio de resistência à compressão

(fonte: TEIXEIRA, 2008, p. 34)

Após a secagem da amostra de argamassa antiga, foi realizado o ensaio de resistência à compressão, destacando-se que, conforme o esperado, a ruptura ocorreu no corpo da argamassa ensaiada, como pode ser verificado na figura 44.



Figura 44 – momento de ruptura da amostra ensaiada

(fonte: TEIXEIRA, 2008, p. 35)

O cálculo do valor de resistência à compressão foi então obtido através da fórmula (7),

$$(R_c) = F_c/A \quad (7)$$

Onde,

R_c - resistência à compressão (MPa);

F_c - força de ruptura na compressão (N);

A - seção média em contato com a célula de ensaio (aproximadamente igual a 40 x 40 mm²).

7.2.8 Absorção de Água por Capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade descrito no trabalho de Japiassú (2011), seguiu as indicações da norma NBR 15259:2005⁷⁹ com algumas alterações. A sequência da metodologia empregada é apresentada em seguida:

- a. as amostras de argamassa foram secas em estufa a temperatura de 50°C durante um período de tempo superior a 48 horas;
- b. após a secagem, as amostras foram depositadas em dessecador com sílica gel e depois pesadas para a obtenção da sua massa seca;

⁷⁹ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

- c. de acordo com a norma, as amostras foram colocadas em contato com uma lâmina de água destilada de altura constante de 5 mm (± 1 mm) acima da superfície de contato, de acordo com o ilustrado na figura 45;



Figura 45 – amostras em contato com a água destilada

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 93)

- d. as medições da massa de água absorvida foram realizadas nos tempos de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 30 e 90 minutos;
- e. por fim, a partir da área das amostras de argamassa e dos seus respectivos valores de massa obtidos em cada tempo, foram calculados a absorção total de água e o coeficiente de capilaridade, de acordo com a norma.

7.2.9 Absorção Total de água por Imersão

Este ensaio também foi realizado no trabalho de Japiassú (2011), que descreve a sua metodologia a seguir:

- a. as amostras de argamassa foram colocadas em recipiente, de modo a ficarem totalmente submersas em água destilada, de acordo com a figura 46;



Figura 46 – amostras durante o ensaio de absorção total de água por imersão

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 95)

- b. após 24 horas de submersão, a amostra foi pesada e a absorção total foi calculada;
- c. a absorção total de água da amostra foi obtida através da fórmula (8) apresentada abaixo:

$$A_T = ((m_o - m_t) / m_t) \cdot 100 \quad (8)$$

Onde,

A_T - absorção total da argamassa (%);

m_o - massa inicial da amostra (g);

m_t - massa da amostra medida em determinado tempo (g).

7.2.10 Permeabilidade ao Vapor de Água

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água foi efetuado no trabalho de Valente (2008). A metodologia empregada foi similar à descrita no item 6.1.6, variando apenas em relação a amostra ensaiada. No item 6.1.6 estudou-se os azulejos, aqui estudar-se-á a argamassa.

7.3 ANÁLISE DOS DADOS

Em seguida, serão analisados os dados gerados a partir dos ensaios descritos anteriormente, levando em conta também as conclusões dos seus autores.

A fim de organizar os resultados dos diversos ensaios realizados, estes foram agrupados de acordo com a característica investigada nas argamassas de assentamento.

7.3.1 Quanto à Composição Química e Mineralógica

Foram analisados os ensaios de DRX, ATG, análise petrográfica, reconstituição de traço e profundidade carbonatada, descritos nos itens 7.2.1, 7.2.2, 7.2.3, 7.2.4 e 7.2.5, respectivamente.

a. Difração por Raios-X.

A partir do ensaio de DRX, como já mencionado no item 6.1.1, é possível o conhecimento da composição química e dos minerais das argamassas antigas à base de cal, utilizadas no período compreendido entre o final do século XIX e início do século XX nas fachadas azulejadas das casas da cidade portuguesa de Ovar.

Na tabela 11, estão apresentados os dados obtidos no ensaio de Japiassú (2011), com os minerais predominantes da composição das argamassas.

Tabela 11 – caracterização mineralógica das argamassas antigas ensaiadas

JAPIASSÚ, 2011			
Identificação mineralógica	PT - Caso 1	PT - Caso 2	PT - Caso 3
Quartzo	p	p	p
Calcita	s	s	s
Mica (moscovita)	t	t	t
Lawsonita	t	t	t
Montmorilonita	t	t	t
Vaterita	t	t	t
Portlandita (hidróxido de cálcio)	---	t	t
Caulinita	---	t	t
Feldspatos (microclínio)	t	t	---
Gipsita	t	---	---
Magnesita	t	---	---
Franzinita	t	---	---
Feldspatos (albita)	t	---	---
Gibbsita (hidróxido de alumínio)	---	---	t
Lazurita	---	---	t

CASO 1		
		
CASO 2		
		
CASO 3		
		

Legenda:	 Principal (p)	 Subordinado (s)	 Traço (t)	 ---Sem presença
----------	---	---	---	---

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 112)

Os trabalhos realizados por Teixeira (2008) e Valente (2008), ambos da Universidade de Aveiro, resultaram em dados muito próximos quanto aos tipos de minerais encontrados, provavelmente por terem sido realizados com os mesmos equipamentos e amostras. Por esta razão, optou-se por divulgar apenas a tabela proveniente do ensaio de Valente (2008) que corresponde à tabela 12, onde os diminutivos Adj., Par. e P, conforme a autora, representam respectivamente às argamassas adjacentes, parâmetro e fração fina (a fração da amostra que foi passada pela peneira cuja malha possui abertura de 75 µm).

Tabela 12 – caracterização mineralógica das argamassas antigas ensaiadas

VALENTE, 2008											
AMOSTRAS	Edifício	Amostras	Quartzo	Calcite	Portlandite	Mica/ilite	Caulinite	Feldspatos	Anidrite	Halite	
	CCB	Amst. 1 (Par.)	+++	++		Vstg	Vstg			Vstg	
		Amst. 2 (Adj.)	+++	+++		Vstg		+			
		Amst. 3 (Adj_P)	++	+++			+				+
		Amst. 4 (Par.)	+++	+++			+	+	Vstg		Vstg
		Amst. 5 (Par_P)	+++	+++			+	+	+		Vstg
		Amst. 6 (Adj.)	+++	+++			+	+	Vstg		Vstg
		Amst. 7 (Adj_P)	+++	+++			+	+			Vstg
		Amst. 8 (Adj.)	+++	+++					+		Vstg
		Amst. 9 (Adj_P)	+++	+++						++	
		Amst. 10 (Par.)	+++	++			+			++	Vstg
		Amst. 11 (Par_P)	+++	+++			+	+	Vstg		Vstg
		Amst. 12	+++	+++			+		+		Vstg
		Amst. 13 (P)	++	+++			+	+	+		+
		Amst. 14	+++	+++					Vstg	++	Vstg
		Amst. 15 (P)	++	+++				Vstg		++	++
	DAS	Amst. 1	+++	+++		+	+	+		Vstg	
		Amst. 2 (P)	++	+++		+	+	+		Vstg	
		Amst. 3 (Adj_P)	+++	+++		+	+			Vstg	
		Amst. 4 (P)	++	+++		+	+	Vstg		Vstg	
	EG	Amst. 1 (Amarelo)	+++	+++		Vstg	Vstg	+		Vstg	
		Amst. 2 (Amarelo_P)	++	+++	+		+		+	+	
		Amst. 3 (Rosa)	+++	+++		+	+	+		+	
		Amst. 4 (Rosa_P)	+++	+++		+	+	+	+	+	
	MO	Amst. 1	+++	+++		Vstg		+++			
		Amst. 2 (P)	++	+++				+		+	
		Amst. 3	+++	+++		+		+		+	
		Amst. 4 (P)	+	+++					+		+
		Amst. 5 (Par_P)	+++	+++					+		+
		Amst. 6 (P)	+	+++							+
		+++	Muito Abundante								
		+	Presente								
		Vstg	Vestigios								

(fonte adaptada de VALENTE, 2008, p. 49)

Analisando os dados das tabelas, verifica-se, conforme observam Japiassú (2011) e Valente (2008), que de fato as argamassas analisadas são à base de cal aérea, pois possuem calcita ou calcite (termo usado em Portugal) e a vaterita⁸⁰. Além disso, as autoras informam sobre a predominância de agregados silicosos, aqui representados pelo quartzo, além de traços de argilominerais como o ilite, caulinita ou caulinite (em Portugal), montmorilonita e moscovita.

A presença de portlandita (hidróxido de cálcio) é indicação de falta de carbonatação da amostra de argamassa analisada. Como explica Japiassú (2011), este fato é perfeitamente justificável, uma vez que os azulejos funcionam como uma barreira ao acesso do CO₂ às argamassas de assentamento. Em contrapartida, a sua quase inexistência nas demais amostras, principalmente verificado no trabalho de Valente (2008) onde um número maior de corpos de prova fora ensaiado, atesta a total carbonatação das argamassas.

A explicação para a total carbonatação dessas argamassas, conforme Japiassú (2011) e Valente (2008), sugere a possibilidade da ocorrência de algumas hipóteses, entre elas, uma maior

⁸⁰ Vaterita é a forma polimórfica mais rara de Carbonato de Cálcio (http://www.ltep.coppe.ufrj.br/projetos/LTEP_Simulador_Multiproposito.pdf)

porosidade dos azulejos que lá estavam assentados, maior largura das juntas entre os azulejos e ainda a perda de algumas placas cerâmicas, expondo a camada de argamassa de assentamento ao CO₂.

Na tabela 11, verifica-se a presença de gipsita em uma das amostras, que de acordo com Japiassú (2011) é indicio do uso de gesso de construção na mistura da argamassa.

A halite ou halita (NaCl), que na tabela 12 aparece em boa parte das amostras ensaiadas por Valente (2008) é indicação, segundo a autora, da presença de sais oriundos do mar (distante 5 km da cidade de Ovar) ou do rio Cáster que corta o centro da cidade, região onde se localizam as casas amostradas. Também nessa tabela percebe-se a anidrite (CaSO₄) associada a uma das amostras.

A anidrite ou anidrita, de acordo com a explicação de Valente (2008), está relacionada com a poluição do ar pela presença dos automóveis, o que se confirma, uma vez que a casa cuja amostra possui este mineral, situa-se em área mais movimentada do centro da cidade.

Cabe aqui destacar que o trabalho de Valente (2008) contou com um maior número de amostras analisadas do que o de Japiassú (2011), por este motivo há uma variedade maior de minerais na tabela 12 que na tabela 11 para amostras da mesma origem (fachadas da cidade de Ovar).

b. Análise Termogravimétrica.

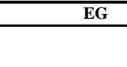
De acordo com a explicação dada no item 7.2.2, através do ensaio de Análise Termogravimétrica é gerada uma curva específica, o termograma, para cada amostra de argamassa ensaiada. Através dele, é possível conhecer o comportamento dos compostos mineralógicos presentes na argamassa mediante as variações de temperatura, possibilitando inclusive a quantificação dos mesmos.

Uma vez que é necessário conhecimento específico para a interpretação dos termogramas, decidiu-se não os apresentar, analisando-se então os dados divulgados pelos autores das pesquisas, através da leitura das curvas. É importante destacar que após o estudo dos textos sobre o resultado dos ensaios realizados por Japiassú (2011), Valente (2008) e Teixeira (2008), os dados e as considerações deste último autor foram aqui reproduzidos por serem mais amplos que os demais.

De acordo com as curvas geradas pelos termogramas, Teixeira (2008) informa que em torno de 100°C inicia-se a liberação da água adsorvida. Entre os 200°C e 600°C, observa-se a desidroxilação das fases argilosas e, ainda de acordo com Teixeira (2008, p. 49), “ [...] possivelmente de fases hidratadas correspondentes a silicatos de cálcio hidratados quando existe componente hidráulica [...] ”, o que indica que algumas das argamassas analisadas podem ter aglomerante hidráulico ou terem sido originados de componentes pozolânicos.

A partir dos 600°C, Teixeira (2008) salienta que ocorre a descarbonatação total da calcita, que segundo ele, está visível no pico em torno de 800°C do termograma, propiciando assim a quantificação do aglomerante. Na tabela 13, constam as percentagens de calcita e de cal hidratada encontradas nas amostras.

Tabela 13 – percentagem de calcita das amostras a partir do ensaio de ATG

PESQUISA	AMOSTRAS	CaCO ₃ (%)	Ca(OH) ₂ (%)	
TEIXEIRA, 2008	CCB			
		N° 01	10,71	7,93
		N° 02	13,99	10,35
	DAS			
		N° 01	17,17	12,71
		N° 03	10,67	7,90
	EG			
		N° 01	16,78	12,42
		N° 03	7,21	5,34
	MO			
	N° 01	18,17	13,45	

(fonte adaptada de TEIXEIRA, 2008, p. 50)

Do exposto na tabela 13, verifica-se que a maior percentagem de calcita é de 18,17%, correspondendo ao maior teor de aglomerante das amostras ensaiadas. Além disso, pela análise da tabela aliada a informação de Teixeira (2008) a respeito das diferentes zonas da fachada de onde foram retiradas as amostras, é possível comprovar que a área onde está a argamassa interfere no seu processo de carbonatação, pois nota-se grande variabilidade nos valores, tanto de calcita quanto de cal hidratada.

c. Análise Petrográfica.

A partir da análise petrográfica, segundo Japiassú (2011), é possível caracterizar a pasta, os agregados e os vazios das argamassas ensaiadas, como demonstram as tabelas 14, 15 e 16.

Tabela 14 – características da pasta das argamassas antigas ensaiadas

JAPIASSÚ, 2011			
Análise	PT- Caso 1	PT- Caso 2	PT- Caso 3
Pasta/argamassa (%)	20 a 25	20	15
Coloração	Marrom	Cinza	Cinza
Carbonatação	Intensa e pervasiva	Intensa e pervasiva	Intensa e pervasiva
Presença de grãos de silicato ou silico-aluminato de cálcio hidratado	Concentrados em uma determinada região da argamassa	---	Concentrados em uma determinada região da argamassa
Presença de restos rocha carbonática mal calcinada	Raros	Sim	Raros
Presença de portlandita	Pouco	Raras plaquetas submilimétricas dispersas	Rara

CASO 1



CASO 2



CASO 3



(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 116)

A partir da análise da tabela 14, verifica-se que as argamassas antigas possuem pasta intensamente carbonatada com pequena presença de rocha carbonática mal calcinada e de portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). A presença de grãos de silicato ou silico-aluminato de cálcio hidratado, segundo Japiassú (2011) citando Guimarães⁸¹ (1997), pode indicar a utilização de cal hidráulica ou de fragmentos cerâmicos produzidos com cal aérea, constituindo assim uma reação pozolânica.

Segundo Velosa (2007, p. 14), “durante a época romana eram utilizados os resíduos cerâmicos como adições pozolânicas derivadas de argila cozida a baixas temperaturas, técnica que continua a ser utilizada atualmente em países como a Índia.”.

Tabela 15 – características dos agregados das argamassas antigas ensaiadas

JAPIASSÚ, 2011			
Análise	PT- Caso 1	PT- Caso 2	PT- Caso 3
Agregado/argamassa (%)	65 a 70	60 a 65	70 a 75
Granulometria	0,03 mm a 2,5 mm	0,2 mm a 5,5 mm	0,2 mm a 2,0 mm
Granulometria predominante	0,9 mm a 1,2 mm	0,8 mm a 1,2 mm	0,4 mm a 0,6 mm
Tipos de grãos	Arredondados a subarredondados	Subangulosos a arredondados	Subangulosos a subarredondados
Esfericidade dos grãos	Moderada a alta	Baixa a moderada	Moderada a alta.
Composição granulométrica (%)	Quartzo mono e policristalino– 85%	Quartzo mono e policristalino– 90%	Quartzo mono e policristalino– 85%
	Fragmento de solo ou cerâmico -10%	---	Fragmentos de solo – 10%
	Outros: mica, feldspato, fragmento de rocha (silito) – 5%	Outros: mica, feldspato, torrão de argila, estauroлита– 10%	Outros: feldspato estauroлита, fragmentos de rocha, turmalina, muscovita - <5%

CASO 1



CASO 2



CASO 3



(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 116)

⁸¹ GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal: Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil**. São Paulo, Brasil: Pini, 1997.

Analisando a tabela 15, constata-se que os agregados que compõem as argamassas antigas são compostos maioritariamente por quartzo, em média 85% do total. Além do quartzo, também foram observados fragmentos de solo ou cerâmicos e a presença de argilominerais, como a mica e o feldspato, já identificados nos ensaios anteriores. Como é comum no estudo de argamassas, que normalmente sofre influência direta do lugar onde foram produzidas e aplicadas, os resultados variados entre as amostras se justificam pelas diferentes características presentes nos locais de onde elas foram retiradas.

Tabela 16 – características dos vazios das argamassas antigas ensaiadas

JAPIASSÚ, 2011				
Análise	PT- Caso 1	PT- Caso 2	PT- Caso 3	
Vazios/argamassa (%)	10	15-20	10-15	CASO 1
Bolhas de ar aprisionado	0,2 mm a 1,0 mm de diâmetro - comuns.	Vazios irregulares e/ou coalescência de bolhas de ar aprisionado - 0,4 mm a 2,5 mm de tamanho	Possíveis bolhas de ar aprisionado de 0,2 mm a 0,5 mm de diâmetro - raras	
Vazios alongados	0,7 mm a 1,2 mm de comprimento – comuns.	3,5 mm de comprimento – comuns	5 mm de comprimento – comuns	CASO 2
Vazios de interface pasta-agregado	---	---	<0,01 mm de espessura – raros	
Microfissuras na pasta	0,1 mm a 0,3 mm de espessura – raros	<0,01 mm de espessura – comuns	<0,1 mm de espessura – comuns.	CASO 3
Microporosidade na pasta	---	<0,01 mm – comuns	<0,01 mm – comuns	
Grãos arrancados	Possíveis grãos arrancados de 0,5 mm a 1,0 mm – raros.	---	1,2 mm a 1,6 mm – comuns	

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 117)

As argamassas à base de cal são muito porosas. Esta característica é confirmada através dos dados da tabela 16, na qual se verifica que o índice de vazios varia de 10 a 15% por amostra.

Coelho et al. (2009) citando Lawrence (2007) informa que o processo de carbonatação provoca um aumento do volume dos poros em torno de 0,1 μm de diâmetro durante a transição da fase portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) para a fase calcite. Além disso, de acordo com o autor, o lento endurecimento das argamassas de cal aérea é consequência do fato destes poros não participarem do processo de carbonatação já que dificultam a penetração do CO_2 .

Ainda com relação a Coelho et al. (2009) agora citando Rato⁸² (2006), nas argamassas de cal aérea, a maior resistência mecânica está associada a argamassas mais porosas, pois facilitam o processo de carbonatação.

⁸² RATO, V. N. P. M. **Influência da Microestrutura Morfológica no Comportamento de Argamassas**. 2006. Tese (Doutoramento em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2006.

Também foram constatadas a presença de bolhas de ar aprisionado e microfissuras na pasta das argamassas analisadas.

d. Reconstituição do Traço.

O resultado da reconstituição do traço, realizado no IPT no trabalho de Japiassú (2011), está representado na tabela 17. A autora enuncia que através da análise química não foi possível identificar a origem da hidráulidade verificada nas amostras. A mesma pode ser devida a presença de cal hidráulica ou pela mistura de cal aérea e solo ou fragmento cerâmico, existência anteriormente comprovada nos ensaios de análise petrográfica e DRX.

Tabela 17 – reconstituição de traço das argamassas antigas ensaiadas

JAPIASSÚ, 2011								
Identificação das argamassas	Parâmetros calculados	Cal hidráulica	Gesso de construção	Agregado silicoso	Relação Aglomerante/agregado	CASO 1		
								
PT – Caso 1	Constituintes (%)	26,6	4,7	68,7	1 : 2,2			
	Proporcionamento, em massa	1	0,2	2,6				
PT – Caso 2	Constituintes (%)	31,7	---	68,3	1 : 2,1			
	Proporcionamento, em massa	1	---	2,15				
PT – Caso 3	Constituintes (%)	20,4	---	79,6	1 : 3,9			
	Proporcionamento, em massa	1	---	3,9				

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 119)

Entretanto, Japiassú (2011) ressalta que em Portugal, no final do século XIX e início do século XX, não era comum o uso de cal hidráulica em argamassas, portanto, a hipótese de ser a mistura de cal aérea e solo ou fragmento cerâmico a responsável pela hidráulidade da composição é a mais provável. Sendo assim, na tabela 17, o termo cal hidráulica se refere a uma dessas duas possibilidades.

A partir dos dados da tabela 17, verifica-se que na amostra referente ao caso 1, também foi encontrado gesso de construção (gipsita). Conforme a autora, apesar de não ser comum o uso de gesso de construção em argamassas de assentamento na época em que as fachadas azulejadas estudadas foram erguidas, a gipsita foi verificada em boa quantidade nessa amostra e confirmada na análise petrográfica.

Sobre a relação aglomerante/agregado das argamassas, as duas primeiras amostras possuem relações similares, porém a referente ao caso 3, com 1:3,9 evidencia uma proporção maior de agregado silicoso, conforme comprova a verificação dos resultados.

e. Profundidade Carbonatada.

O ensaio para avaliação da profundidade carbonatada nas argamassas antigas, foi realizado por Japiassú (2011) na amostra correspondente ao caso 1. A autora informa e comprova através da figura 47, que após a fragmentação da argamassa e colocação da fenolftaleína não surgiram regiões com cor rosa ou vermelho carmim. Esta situação indica a total carbonatação do material, em concordância com o resultado da análise petrográfica.



Figura 47 – ensaio de carbonatação em amostra de argamassa antiga

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 121)

7.3.2 Quanto às Características Mecânicas

Neste tópico serão apresentados os resultados dos ensaios do módulo de elasticidade e resistência à compressão, executados por Teixeira (2008).

a. Módulo de Elasticidade.

O módulo de elasticidade (E), é a propriedade que mede a capacidade de deformação de um material, relacionando a tensão aplicada com a sua conseqüente deformação.

Conforme Silva, F. B. et al. (2008), quando ocorrem deformações em materiais elásticos, estas não propiciam o surgimento de fissuras, pois cessada a sollicitação, o material volta às suas dimensões originais. “Entretanto, a argamassa se comporta elasticamente apenas para tensões muito baixas: em tensões maiores, seu mecanismo de deformação inclui microfissuras, que

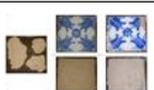
ozinhas não devem comprometer a estanqueidade ou durabilidade do componente do qual a argamassa faz parte.” (SABBATINI et al.⁸³, 1989 apud SILVA, F. B. et al., 2008).

Sendo assim, no estudo das argamassas, torna-se imperativo a análise de seu módulo de elasticidade, a fim de verificar se sua capacidade de deformação é compatível com o nível de tensões aos quais será solicitada. No caso das argamassas antigas, essas informações contribuem para a escolha da composição de características mais adequadas a empregar nas obras de conservação.

No ensaio de obtenção do módulo de elasticidade, apesar de Teixeira (2008) ter realizado o procedimento em duas etapas a partir das distâncias percorridas pela onda: medição transversal e medição longitudinal, a análise dos resultados obtidos, segundo o autor, leva a crer que a medição longitudinal fornece informações mais consoantes com o tipo de material amostrado, no caso, as argamassas à base de cal. Sendo assim, neste capítulo será apresentado e discutido apenas os dados do ensaio através da medição longitudinal.

Na tabela 18 e no gráfico da figura 48, estão os valores médios do módulo de elasticidade dinâmico, encontrados por Teixeira (2008), tanto das amostras quanto dos imóveis de onde elas foram retiradas.

Tabela 18 – módulo de elasticidade dinâmico das amostras de argamassas e de seus imóveis

PEQUISA	FACHADAS	$E_{\text{médio}}$ (MPa)	AMOSTRAS	$E_{\text{médio}}$ (MPa)	
TEIXEIRA, 2008	CCB	1593	CCB		
			Nº 01	1377	
				Nº 02	1810
	DAS	1206	DAS		
			Nº 01	765	
				Nº 02	1647
MO	1250	MO			
		Nº 01	1477		
			Nº 02	1022	

(fonte adaptada de TEIXEIRA, 2008, p. 51/52)

⁸³ SABBATINI, F. H. *et al.*; **Conceitos básicos sobre a execução de revestimentos argamassados**. 1989. (Assim referenciado no trabalho de SILVA, F. B. *et al.*, 2008) (NOTA DA AUTORA).

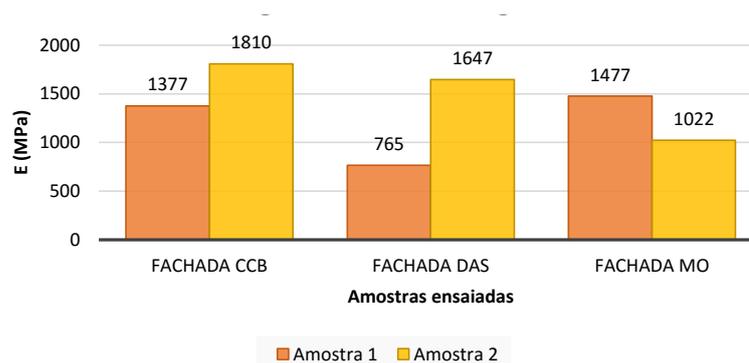


Figura 48 – módulo de elasticidade dinâmico das argamassas antigas

(fonte adaptada de TEIXEIRA, 2008, p. 51/52)

Observando os valores médios do módulo de elasticidade, percebe-se uma grande variedade, tanto para as amostras quanto para os imóveis. Esta diversidade mais uma vez se justifica pelas peculiaridades de cada região onde se localiza a amostra ensaiada, comprovando que no estudo de argamassas o meio onde ela foi produzida e aplicada interfere diretamente em algumas propriedades como seu módulo de elasticidade.

Além disso, em uma mesma fachada, amostras extraídas de pontos diferentes, conforme informado por Teixeira (2008), apresentaram valores variados.

Coelho et al. (2009) corroboram a hipótese supracitada ao descreverem, em seu trabalho, a pesquisa de vários autores que provaram ser o módulo de elasticidade dinâmico muito sensível a variações como o período de extinção e o tempo de cura das argamassas de cal, a natureza do agregado, se de origem fluvial ou não e o tipo de cal utilizada (cal aérea e/ou cal hidráulica).

b. Resistência à Compressão.

Conforme Coelho et al. (2009) o comportamento típico das argamassas com relação à resistência à compressão está representado pelo gráfico da figura 49, a partir do qual se verifica que o emprego de aglomerantes (ligantes em Portugal) de cal, aéreos ou hidráulicos, origina argamassas com baixa resistência à compressão em contraposição ao uso de aglomerantes hidráulicos, como o cimento Portland.

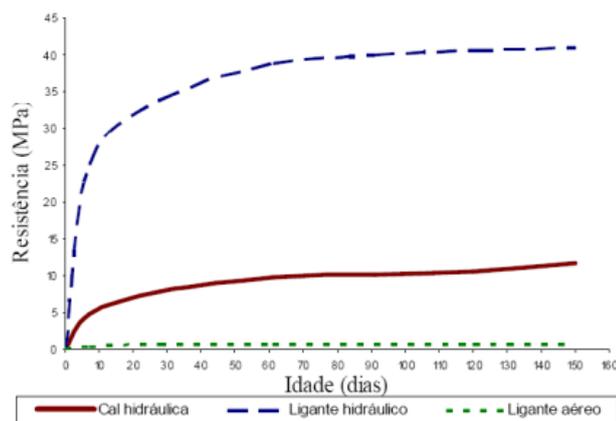


Figura 49 – resistência à compressão para argamassas com vários tipos de aglomerantes

(fonte: SEQUEIRA et al.⁸⁴, 2007 apud COELHO et al., 2009)

Além disso, e também segundo Coelho et al. (2009), os valores da resistência à compressão, assim como do módulo de elasticidade dinâmico, variam de acordo com fatores como a origem e o tamanho do agregado utilizado, a quantidade de água de amassamento e principalmente o tipo de aglomerante utilizado e a proporção entre eles, no caso de uso de mais de um.

A exemplo do ensaio para obtenção do módulo de elasticidade, no ensaio de resistência à compressão, Teixeira (2008) analisou as amostras e os imóveis de onde elas foram retiradas. Os dados estão dispostos na tabela 19 e no gráfico da figura 50.

Tabela 19 – resistência à compressão das amostras de argamassas e de seus imóveis

PESQUISA	FACHADAS	R _C médio (MPa)	AMOSTRAS	R _C médio (MPa)
TEIXEIRA, 2008	CCB	1,37	CCB	
			Nº 01	1,92
			Nº 02	0,91
				
	DAS	1,42	DAS	
			Nº 01	1,41
			Nº 02	1,44
				
MO	1,05	MO		
		Nº 01	1,08	
		Nº 02	1,02	
				

(fonte adaptada de TEIXEIRA, 2008, p.53/54)

⁸⁴ SEQUEIRA, A. C.; FRADE, D.; GONÇALVES, P. Cal Hidráulica: Um Ligante para a Reabilitação. In: 2º CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO. *Anais...* APFAC, Lisboa, Portugal. Não paginado. 2007.

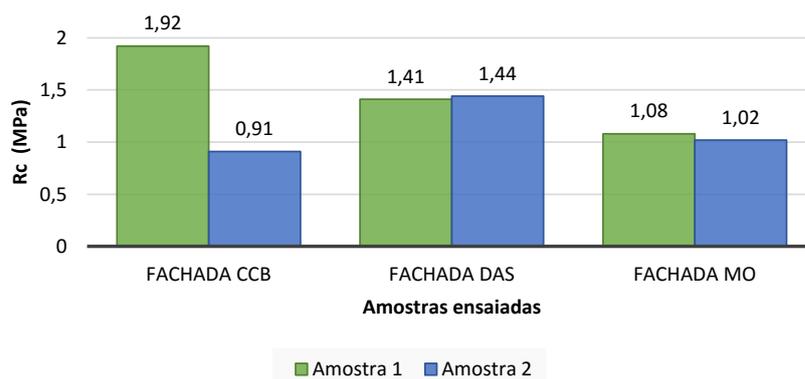


Figura 50 – resistência à compressão das amostras de argamassas antigas

(fonte adaptada de TEIXEIRA, 2008, p.53/54)

Conforme é possível verificar da tabela 19 e do gráfico da figura 50, tal como acontece com o módulo de elasticidade, também a resistência à compressão é sensível à localização da amostra na fachada. Nas amostras CCB, por exemplo, cujos valores para a resistência à compressão são bem distintos, Teixeira (2008) informa que a amostra 2 foi retirada próxima à verga da porta e a amostra 1 da região lateral de uma das janelas.

7.3.3 Quanto à Absorção de Água

De acordo com Coelho et al. (2009, p. 84), “[...] a durabilidade das argamassas de cal está relacionada com a sua porometria e estrutura porosa, [...] condicionando de que forma se processará quer o contato com a fase líquida (absorção) quer a secagem dessa mesma fase por evaporação (permeabilidade ao vapor).”.

a. Absorção de Água por Capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade no trabalho de Japiassú (2011) foi realizado em duas amostras (PT-VO-A8 e PT-VO-A9) correspondentes ao caso 1. Na tabela 20 estão os valores de absorção de água em função do tempo.

Tabela 20 – absorção de água por capilaridade de argamassas antigas ensaiadas

JAPIASSÚ, 2011											
Tempo (minutos)		0	1	2	3	4	5	10	30	90	CASO 1 
Absorção (g/cm²)	PT-VO-A8	0,00	0,23	0,37	0,47	0,57	0,64	0,79	1,08	1,57	
	PT-VO-A9	0,00	0,19	0,27	0,33	0,38	0,43	0,56	0,87	1,47	
	Média	0,00	0,21	0,32	0,40	0,48	0,54	0,68	0,98	1,52	

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 120)

Apesar da quantidade de água absorvida ser maior com o passar do tempo, como se observa a partir dos dados da tabela 20, a intensidade de absorção de água é maior nos primeiros minutos, como ilustra a figura 51 a partir do gráfico da absorção de água por capilaridade das amostras correspondentes ao caso 1.

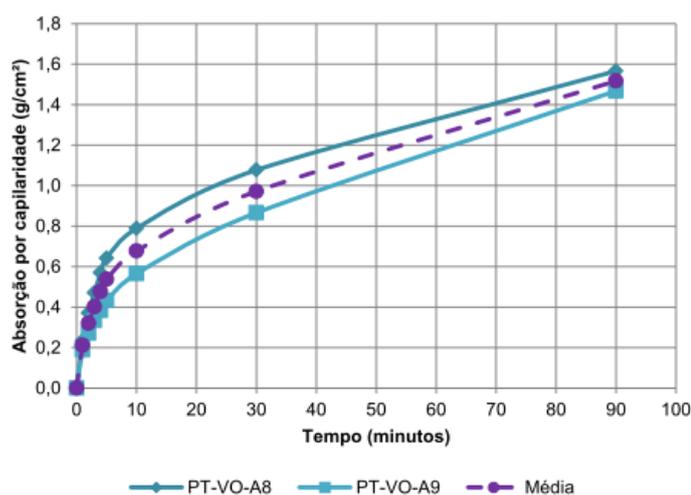


Figura 51 – absorção de água ao longo do tempo para amostras de argamassas antigas

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 120)

O valor médio para o coeficiente de capilaridade obtido na amostra ensaiada foi de $4,1 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ (ou $10,3 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$).

b. Absorção de Água por Imersão

O ensaio de absorção de água por imersão foi realizado por Japiassú (2011) também a partir da amostra do caso 1. O valor encontrado após 24 horas foi de 12,6%.

c. Permeabilidade ao Vapor de Água

Tabela 21 – permeância ao vapor de água para amostras de argamassa

PESQUISA	FACHADAS	AMOSTRAS	Permeância ao Vapor de Água (ng/m ² .s.Pa)	
VALENTE, 2008	CCB			
			N° 01	264,54
			N° 02	249,71
	DAS			
			N° 01	154,51
			N° 02	170,90
	MO			
			N° 01	218,89
N° 02			207,18	

(fonte elaborada pela autora)

De acordo com a tabela 21 (CCB, DAS e MO correspondem as casas cujas fachadas estão sendo analisadas), verifica-se que entre as amostras de uma mesma fachada, os valores de permeância são muito próximos, mesmo com o fato das amostras terem sido retiradas de áreas diferentes da fachada, conforme informação de Valente (2008). Essa observação comprova que, com relação às argamassas de assentamento, a permeabilidade se mantém uniforme ao longo da fachada.

7.4 CONCLUSÕES PARCIAIS

De acordo com os ensaios descritos e os dados obtidos e analisados, neste capítulo serão lançadas conclusões relativas a cada grupo de características.

7.4.1 Quanto à Composição Química e Mineralógica

Conforme as tabelas 11 e 12, representativas de ensaios executados, respectivamente no Brasil e em Portugal, conclui-se que as argamassas empregadas nas fachadas azulejadas de interesse histórico amostradas, são realmente à base de cal aérea pois possuem calcita (ou calcite em Portugal) em sua composição. Além da calcita, também se verificou a presença predominante de quartzo, como componente silicoso e traços de argilominerais.

A partir dos ensaios de ATG e da análise petrográfica (tabelas 13 e 14), constatou-se a intensa carbonatação das argamassas, apesar de terem sido utilizadas no assentamento de azulejos, os quais dificultam a penetração do CO₂ nos vazios da argamassa prejudicando a carbonatação das mesmas. A justificativa dos autores para esse fato reside em algumas hipóteses, como maior largura das juntas de dilatação, facilitando o contato do CO₂ com a argamassa e/ou fachadas em adiantado estado de degradação, compostas por azulejos faltantes que desta maneira deixariam exposta a camada de argamassa.

A propriedade das argamassas à base de cal de serem muito porosas foi confirmada com o ensaio de análise petrográfica, pois através da tabela 16 observa-se que o índice de vazios varia entre 10% a 15% por amostra, além da constatação da presença de bolhas de ar aprisionado e microfissuras.

No ensaio de ATG e de reconstituição de traço (tabela 17), foi verificado traços de substâncias responsáveis por fornecer hidráulidade à argamassa. Uma vez que na época não era usual o emprego da cal hidráulica, os autores atribuíram essa característica ao uso da mistura de cal aérea com solo ou com fragmentos cerâmicos. Já a relação aglomerante/aglomerado variou entre 1:2,1 a 1:3,9; provando que no estudo de argamassas, é importante também levar em conta a variabilidade do meio em que foram produzidas e empregadas.

Reafirmando os dados obtidos com a análise petrográfica, o ensaio de profundidade carbonatada atestou a total carbonatação das amostras de argamassa ensaiadas.

7.4.2 Quanto às Características Mecânicas

As características mecânicas foram obtidas através dos ensaios de determinação do módulo de elasticidade e de resistência à compressão promovidos por Teixeira (2008), cujos dados estão dispostos nas tabelas 18 e 19 e nos gráficos das figuras 43 e 45.

Analisando as tabelas e os gráficos supracitados, é possível perceber que o módulo de elasticidade e a resistência à compressão são características sensíveis à região onde a argamassa foi aplicada, uma vez que duas amostras retiradas de áreas variadas de uma mesma fachada, de acordo com o informado pelo autor, forneceram valores diferentes para essas propriedades.

7.4.3 Quanto à Absorção de Água

Conforme Coelho et al. (2009) citando Rato (2006), enquanto a porosidade aberta está relacionada ao valor assintótico de absorção de água por capilaridade, o coeficiente de capilaridade é influenciado pela dimensão dos poros e pela conectividade da rede porosa.

Coelho et al. (2009) também comentam que pesquisas indicaram que a porosidade aberta aumenta com o tempo de extinção da cal viva, assim como o coeficiente de absorção de água por capilaridade e o valor assintótico. Além disso, todos estes parâmetros incluindo a permeabilidade ao vapor de água, têm seus valores aumentados a partir do incremento de cal aérea na argamassa, ao contrário do verificado com a cal hidráulica.

No ensaio de absorção de água por capilaridade, conforme a tabela 20, nota-se que apesar da quantidade de água absorvida aumentar ao longo do tempo, a intensidade de absorção é maior nos primeiros minutos, conforme a figura 46.

O valor médio do coeficiente de capilaridade das amostras ensaiadas foi de $4,1 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ (ou $10,3 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$).

Quanto a absorção de água por imersão, o resultado obtido após 24 horas foi de 12,6%.

Com relação a permeabilidade, o ensaio de permeância ao vapor de água demonstrou, através dos dados da tabela 21, que não houve variações significativas nas argamassas ensaiadas, mesmo quando analisadas amostras de regiões diferentes de uma mesma fachada.

7.5 CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta as conclusões acerca dos principais pontos desenvolvidos sobre argamassas de cal aérea.

- a. O endurecimento das argamassas à base de cal aérea ocorre em duas fases: a primeira corresponde a contração de volume da pasta devido a evaporação da água de amassamento. Na etapa seguinte, tem-se a reação de carbonatação, na qual o CO_2 reage com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) presente na argamassa gerando o carbonato de cálcio (CaCO_3), produto que confere à argamassa aumento de resistência mecânica.

- b. A carbonatação é uma reação exotérmica, com dilatação ligada à liberação de calor, podendo portanto causar fissuras por retração. A adição de areia reduz a possibilidade de retração da pasta de cal apagada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), dividindo-a em pequenas frações e permitindo a entrada do ar necessário para a carbonatação.
- c. A areia empregada na argamassa de cal aérea deve ser siliciosa ou calcária, limpa, sem umidade e sem argila, pois o endurecimento desta argamassa também acontece devido a reação do hidróxido de cálcio com a sílica.
- d. As partículas muito finas da cal hidratada, ao serem misturadas com água, funcionam como lubrificante, reduzindo o atrito entre os grãos de areia. O resultado é uma maior plasticidade da argamassa, proporcionando melhor trabalhabilidade.
- e. A cal hidratada permite também que as argamassas tenham maiores deformações, com menor probabilidade de fissuração. Outra propriedade importante no estado fresco da cal, é a retenção de água, que impede a sucção excessiva de umidade pelo suporte.
- f. Por ser um produto alcalino, a cal hidratada impede a oxidação nas ferragens e, também por ter essa característica, atua como agente bactericida e fungicida. Além disso, evita que se formem manchas e o apodrecimento precoce dos revestimentos.
- g. As argamassas com cal absorvem melhor as pequenas movimentações das construções evitando fissuras e até o estufamento e queda das placas cerâmicas, aumentando a vida útil do revestimento.
- h. Na composição mineralógica das amostras de argamassa, foram encontradas calcita e vaterita, atestando que as argamassas ensaiadas são realmente à base de cal.
- i. A presença de portlandita (hidróxido de cálcio) é indicação de falta de carbonatação da amostra de argamassa analisada. Este fato é perfeitamente justificável, uma vez que os azulejos funcionam como uma barreira ao acesso do CO_2 às argamassas de assentamento.

- j. A localização da amostra na fachada, interfere no seu processo de carbonatação, pois verificou-se grande variabilidade nos valores obtidos tanto de calcita quanto de cal hidratada.
- k. Na composição das amostras analisadas, foram encontrados indícios de fragmentos cerâmicos que funcionariam como adições pozolânicas à argamassa.
- l. Os agregados que compõem as argamassas antigas analisadas, são compostos maioritariamente por quartzo, em média, 85% do total, além de mica e feldspato.
- m. As argamassas à base de cal são muito porosas. Esta característica é confirmada através da observação sobre o índice de vazios que varia de 10 a 15% por amostra. Também foram constatadas a presença de bolhas de ar aprisionado e microfissuras na pasta das argamassas analisadas.
- n. O processo de carbonatação das argamassas de cal, provoca um aumento do volume dos poros em torno de 0,1 μm de diâmetro durante a transição da fase portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) para a fase calcita.
- o. A argamassa se comporta elasticamente apenas para tensões muito baixas, em tensões maiores seu mecanismo de deformação inclui microfissuras, que sozinhas não devem comprometer a estanqueidade ou durabilidade do componente do qual a argamassa faz parte. Sendo assim, no estudo das argamassas torna-se imperativo a análise de seu módulo de elasticidade, a fim de verificar se sua capacidade de deformação é compatível com o nível de tensões aos quais será solicitada.
- p. Tal como acontece com o módulo de elasticidade, também a resistência à compressão é muito sensível não apenas ao local onde a argamassa foi aplicada, como também ao modo como foi preparada e a composição utilizada.
- q. A porosidade aberta das argamassas está relacionada com o valor assintótico de absorção de água por capilaridade. O coeficiente de capilaridade é influenciado pela dimensão dos poros e pela conectividade da rede porosa.

- r. A porosidade aberta aumenta com o tempo de extinção da cal viva, assim como o coeficiente de absorção de água por capilaridade e o valor assintótico. Além disso, todos estes parâmetros incluindo a permeabilidade ao vapor de água, têm seus valores aumentados a partir do incremento de cal área à argamassa, ao contrário do verificado com a cal hidráulica.
- s. O valor médio do coeficiente de capilaridade das amostras ensaiadas foi de $4,1 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ (ou $10,3 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$).
- t. Quanto a absorção de água por imersão, o resultado obtido após 24 horas foi de 12,6%.
- u. A absorção de água nas argamassas antigas aumenta com o passar do tempo, porém é mais intensa nos primeiros instantes de absorção.
- v. Com relação a permeância ao vapor de água, as argamassas, ao contrário do observado para os azulejos, mantiveram valores muito próximos ente si para amostras retiradas de locais diferentes em uma mesma fachada.

8 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS PARA RESTAURAÇÃO

No estudo da caracterização das argamassas para restauração, serão analisados os ensaios executados nos trabalhos de Japiassú (2011), Valente (2008) e Teixeira (2008), trabalhos estes que tiveram como objetivo a obtenção de uma argamassa à base de cal cujas características fossem similares às antigas, analisadas no capítulo anterior.

Entretanto, cabe aqui uma observação a respeito da composição comumente testada para as argamassas de substituição, nas quais se adiciona à cal algum material pozolânico.

8.1 USO DO METACAULIM NAS ARGAMASSAS À BASE DE CAL

De acordo com Freitas e Gonçalves⁸⁵, (2008) apud Faria et al. (2011, p. 48), “a utilização de argamassas de cal aérea numa obra de recuperação no norte de Portugal, necessitou de 13 meses para a aplicação de três camadas e o seu endurecimento.”.

Sendo assim, as novas argamassas à base de cal também precisam ser formuladas a fim de compensar o lento processo de carbonatação da cal aérea. Este intuito tem sido alcançado a partir da associação da cal com materiais pozolânicos.

Velosa (2006) comenta que na antiguidade, as pozolonas eram classificadas como areias e designadas como *pulvis Puteolanos*, por serem provenientes da região de *Puteoli*⁸⁶, e que foram os gregos os primeiros a utilizar este material nas argamassas, em torno de 1500 a.C..

Vitruvius menciona o material pozolânico no seu capítulo VI do Livro II, como “[...] um tipo de pó que existe nas zonas de Baiae⁸⁷ e do Vesúvio⁸⁸ e que quando misturada com cal e areia, produz argamassas que endurecem debaixo de água.” (VELOSA, 2006, p. 59).

⁸⁵ FREITAS, V. P.; GONÇALVES, P. *Specification and lime required for the application of a lime-based render inside historic buildings. In: INTERNATIONAL CONFERENCE HMC 08 - HISTORICAL MORTARS CONFERENCE: CHARACTERIZATION, DIAGNOSIS, REPAIR AND COMPATIBILITY- LNEC*. 8, 2008. Lisboa, Portugal.

⁸⁶ Puteoli é geralmente identificada com a atual Pozzuoli, situada na baía do mesmo nome, uns 10 km a sudoeste de Nápoles, Itália. ([Http://wol.jw.org/pt/wol/d/r5/lp-t/1200003592#h=2](http://wol.jw.org/pt/wol/d/r5/lp-t/1200003592#h=2))

⁸⁷ Baiae, antiga cidade de Campânia, Itália, localizada na costa oeste do Golfo do Puteoli (Pozzuoli) e que se encontra 10 milhas (16 km) a oeste de Nápoles. ([Http://global.britannica.com/place/Baiae](http://global.britannica.com/place/Baiae))

⁸⁸ Vesúvio é um vulcão ativo que se eleva acima da baía de Nápoles, na planície da Campânia, no sul da Itália. ([Http://global.britannica.com/search?query=Vesuvio](http://global.britannica.com/search?query=Vesuvio))

Conforme definição da NBR 12653:2012, materiais pozolânicos são “materiais silicosos ou sílicoaluminosos que, por si só, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes.”.

A NBR 12653 divide as pozolanas, de acordo com a sua forma de obtenção, em naturais e artificiais: as naturais são aquelas de origem vulcânica ou de origem sedimentar com atividade pozolânica. As artificiais, são provenientes de processos industriais ou de tratamentos térmicos com atividade pozolânica, como argilas calcinadas, cinzas volantes, e outros materiais menos convencionais como escórias siderúrgicas ácidas, cinzas de materiais vegetais e rejeito de carvão mineral.

Atualmente, devido à falta de outros materiais pozolânicos no mercado, como as cinzas volantes e a sílica de fumo, além da dificuldade natural na obtenção de pozolanas naturais, o uso do metacaulim tem vindo a ser mais generalizado, tanto em Portugal quanto no Brasil.

O metacaulim é um material pozolânico, constituído basicamente por sílica (SiO) e alumina (Al_2O_3) na sua fase amorfa. Segundo Japiassú (2011, p. 65) citando Santos⁸⁹ (1992), “o metacaulim é obtido a partir do processo de calcinação da caulinita, que é o argilomineral predominante das argilas brasileiras utilizadas na fabricação de produtos cerâmicos tais como tijolos de alvenaria e telhas.”.

Ainda de acordo com Japiassú (2011), o metacaulim ($\text{SiO}_2.\text{Al}_2\text{O}_3$), reage na presença de água com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), proveniente da hidratação da cal aérea, formando compostos aglomerantes. Além disso, é considerado um material de alta reatividade, devido a sua alta pozolonicidade mesmo quando suas dimensões são inferiores a 5 μm .

Cada vez mais esse material vem sendo aplicado em obras tradicionais da construção civil, pois sua presença aumenta a durabilidade e resistência mecânica do concreto e das argamassas de cimento. Também possui um excelente custo-benefício já que em média, a quantidade de metacaulim utilizada na mistura com o cimento Portland, é de três a dez vezes menor quando comparada às pozolanas comuns (cinza volante ou escória de alto forno). (*site* CIMENTO ITAMBÉ⁹⁰).

⁸⁹ SANTOS, P. de S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. 2 ed. São Paulo, Brasil: Ed. Edgar Blücher, 1992, v. 2

⁹⁰ <http://www.cimentoitambe.com.br/aliado-do-cimento-metacaulim-expande-mercado-no-brasil/>

O uso do metacaulim na composição de argamassas à base de cal para restauração, tem sido estudado e divulgado tanto em pesquisas realizadas no Brasil quanto em Portugal. Conforme Velosa et al. (2011), o uso do metacaulim “[...]surge devido à necessidade de dotar estas argamassas de capacidade de endurecimento em meios muito úmidos ou de difícil acesso de CO₂, como é o caso de argamassas de suporte de revestimentos azulejares.”.

Sendo assim, os ensaios para formulação de novas argamassas à base de cal, destinam-se também, em alguns estudos, à obtenção da proporção mais eficaz do metacaulim na composição destas argamassas.

8.2 REQUISITOS PARA AS ARGAMASSAS DE RESTAURAÇÃO

Tratando-se de materiais a serem utilizados em restauração, é necessário levar em consideração que os mesmos devem ser compatíveis com os já existentes e que serão mantidos durante a obra. A edificação precisa ser pensada como um todo, pois é o conjunto, formado pelo antigo em comunhão com o novo, o responsável por manter por mais tempo a integridade física e histórica do prédio após a restauração.

Se um determinado elemento, seja uma argamassa mal aplicada ou junta de dilatação com espessura errada, por exemplo, não estiver eficientemente integrado nesse conjunto, a finalidade da restauração não será atingida, pois muito antes do esperado ocorrerão danos, inicialmente pontuais e a médio prazo, possivelmente, em todo o imóvel.

Sendo assim, de acordo com Veiga (2003), “a adequação dos materiais a usar na realização de revestimentos de substituição, prende-se com critérios de compatibilidade, funcionais, de aspecto e de comportamento futuro em conjunto com os pré-existentes [...]”.

No caso das argamassas, seu uso em obras de restauração nas quais a sua composição é considerada incompatível com os materiais originais, acarreta prejuízos tais como: introdução de tensões acima do suportado por uma base mecanicamente fraca e pouco coesa; tendência à retenção de água, muitas vezes dificultando a sua secagem; adição de sais solúveis à alvenaria, entre outros.

Em síntese, Veiga (2003) lista os requisitos principais que devem nortear a elaboração de argamassas utilizadas em uma obra de restauração, a saber:

Importância do uso de argamassas de cal na restauração de fachadas compostas por azulejos fabricados no final do século XIX e início do século XX.

- a. as características mecânicas devem ser semelhantes às das argamassas originais e inferiores às do suporte;
- b. a aderência nunca deve ter ruptura coesiva pelo suporte;
- c. a tensão desenvolvida por retração restringida deve ser inferior à resistência à tração do suporte;
- d. a capilaridade, a permeabilidade ao vapor de água e a facilidade de secagem devem ser semelhantes às argamassas originais e superiores às do suporte;
- e. devem adequar-se ao papel funcional e estético das argamassas que substituem (rebocos, juntas, acabamentos, etc.);
- f. devem possuir durabilidades e envelhecerem de forma similar e não devem provocar halos⁹¹ ou alterações de cor em revestimentos adjacentes preservados.

8.3 ENSAIOS EXECUTADOS

Inicialmente, os ensaios realizados na maioria dos trabalhos aqui analisados, tiveram o objetivo de caracterizar as matérias primas constituintes da nova argamassa, de modo a que os valores obtidos estivessem de acordo com o que determina a norma específica para cada caso. Foram executados ensaios de massa unitária, área superficial e granulometria.

Uma vez que o foco deste trabalho é a comparação entre as características das argamassas antigas à base de cal, as novas compostas por cal e/ou metacaulim e as tradicionais de cimento, será levada em consideração, portanto, a argamassa já resolvida com relação a sua composição e traço. Sendo assim, não serão descritas as análises listadas acima, pois as mesmas são inerentes à fase de formulação das argamassas.

As argamassas analisadas foram preparadas a partir de cal aérea, metacaulim e areia. As informações específicas quanto as composições das argamassas ensaiadas em cada trabalho aqui analisado, a proporção entre as matérias primas e a granulometria da areia utilizada, são descritas a seguir.

⁹¹ Halos corresponde à formação de um círculo de aparência desigual à do material por ele envolvido (NOTA DA AUTORA).

a. Japiassú (2011)

No trabalho elaborado por Japiassú (2011), foram produzidos quatro tipos diferentes de argamassas de assentamento e uma composição fixa de argamassa para regularização da base onde foram assentados os azulejos.

Segundo a autora, na produção dos dois tipos de argamassas foram usados: cal aérea hidratada (tipo CH-I), metacaulim e areia de rio lavada, obtida no mercado brasileiro. A relação em volume de 1:3 (cal e metacaulim: areia) foi mantida também para os dois casos.

As quatro amostras de argamassas ensaiadas, como informa Japiassú (2011), variaram nos seus traços com relação as percentagens de metacaulim adicionados em cada uma. Os teores de metacaulim utilizados foram de 0%, 5%, 10% e 15% em substituição da cal em volume, como se verifica na tabela 22. Porém, a relação de água para os materiais secos nessas amostras, foi fixada em 21%.

Tabela 22 – nomenclatura e proporção das amostras de argamassa para restauração

JAPIASSÚ, 2011				
ARGAMASSA	TRAÇO EM VOLUME			RELAÇÃO
	Cal	Metacaulim	Areia	ÁGUA
				AGLOMERANTE
A	1	0	3	1,77
B	1	0,047	3,157	1,87
C	1	0,099	3,332	1,97
D	1	0,159	3,528	2,09

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011)

Como já mencionado, a composição da argamassa de regularização foi mantida fixa e seu proporcionamento volumétrico foi estabelecido em 1: 0,11: 3,33 (cal: metacaulim: areia).

Quanto à areia utilizada na composição das argamassas, conforme Japiassú (2011, p. 143), “[...] caracteriza-se por ser média (grãos entre 1,2 mm a 0,42 mm), com módulo de finura 2, com dimensão máxima característica de 2,38 mm e com grãos predominantes entre 0,15 mm a 1,20 mm.”. Na figura 52 é possível observar a curva granulométrica da areia utilizada.

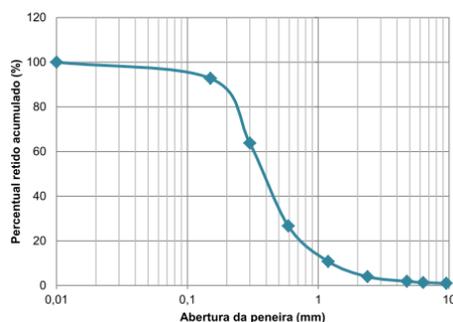


Figura 52 – curva granulométrica da areia utilizada nas amostras de argamassa

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 143)

b. Valente (2008) e Teixeira (2008)

As informações sobre as composições de argamassa produzidas no trabalho de Valente (2008) serão utilizadas também para o trabalho de Teixeira (2008), uma vez que ambos os autores empregaram a mesma composição, traço e nomenclatura para as referidas amostras.

No estudo das argamassas de substituição, no trabalho de Valente (2008), foram produzidas amostras com cal aérea, areia de rio e areia da cidade de Ovar (que a autora se refere como sendo saibro) e metacaulim.

Conforme observa Valente (2008), uma vez que as curvas granulométricas das duas areias (de rio e da cidade de Ovar) eram muito parecidas, decidiu-se utilizar 50% de cada tipo de areia na composição das amostras de argamassa. Na figura 53 consta a curva granulométrica da composição das duas areias.

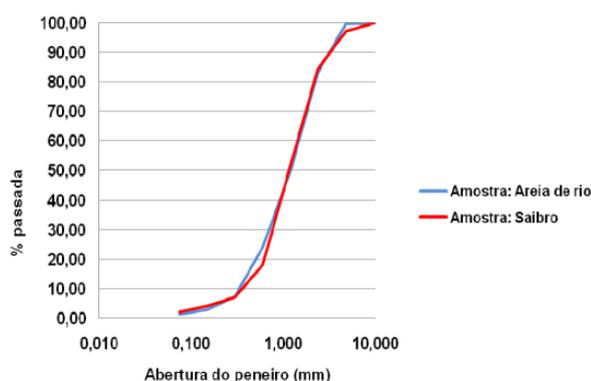


Figura 53 – curva granulométrica da areia de rio e do saibro usadas na mistura de 50% final

(fonte: TEIXEIRA, 2008, p. 55)

No trabalho de Valente (2008), foram elaboradas quatro misturas de argamassa de assentamento, sendo que apenas uma, a amostra denominada COR, foi elaborada sem a adição de metacaulim e com traço 1: 3 (cal: areia de rio e areia de Ovar).

As demais misturas, possuem metacaulim e traço 1: 0,5: 2,5 com as seguintes composições e nomenclaturas: a amostra COM, composta por cal, areia de Ovar e metacaulim; a amostra CORM, contendo cal, areia de Ovar, areia de rio e metacaulim e a amostra CRM, composta por cal, areia de rio e metacaulim. Na tabela 23 estão descritas as nomenclaturas e traços das argamassas ensaiadas, além da relação entre a quantidade de água de amassadura e aglomerante, utilizada para cada amostra.

Tabela 23 – nomenclatura, proporcionamento e relação água/aglomerante das amostras de argamassa

VALENTE, 2008 e TEIXEIRA, 2008					
ARGAMASSA	TRAÇO EM VOLUME				RELAÇÃO
	Cal	Metacaulim	Areia		ÁGUA
			Areia de Rio	Saibro	AGLOMERANTE
COM	1	0,5	1,5	1,5	1,38
CRM	1	0,5	—	2,5	1,21
CORM	1	0,5	1,25	1,25	1,21
COR	1	0,5	2,5	—	1,79

(fonte adaptada de VALENTE e TEIXEIRA, 2008)

Após a produção da argamassa, os ensaios foram divididos de acordo com o seu estado físico, ou seja, em estado plástico e em estado endurecido.

8.3.1 Argamassas de Substituição no Estado Plástico

As argamassas de assentamento, no estado plástico, devem apresentar boa trabalhabilidade a fim de facilitar a sua aplicação, e nos casos de assentamento dos azulejos, favorecer a adesão através do preenchimento satisfatório da pasta da argamassa nas reentrâncias do tardo do azulejo. Também é necessário que a argamassa no estado plástico possua adequada capacidade de retenção de água, garantindo assim a hidratação do seu material aglomerante, neste caso a cal.

No estado plástico, realizaram-se os ensaios de determinação da consistência pela penetração do cone, índice de consistência por espalhamento, determinação da massa volúmica e determinação da retenção de água por sucção com bomba de vácuo.

Na figura 54 estão dispostos os ensaios executados e analisados para a argamassa de substituição no estado plástico.



Figura 54 - organização dos ensaios realizados nas amostras de argamassa no estado plástico

(fonte: elaborada pela autora)

8.3.1.1 Determinação da Consistência pela Penetração do Cone

Este ensaio foi realizado por Japiassú (2011) de acordo com a norma ASTM C780⁹² (2009), através do uso de um penetrômetro dotado de cone. As etapas do procedimento estão ilustradas abaixo e exemplificadas através da figura 55:

- a. preenchimento do copo;
- b. adensamento da argamassa;
- c. golpes na parte externa do copo;
- d. medição da penetração do cone.



Figura 55 – determinação da consistência da argamassa pela penetração do cone

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 144)

⁹² SOCIEDADE AMERICANA DE TESTES E MATERIAIS. **ASTM C780**: *standard test method for preconstruction and construction evaluation of mortars for plain and reinforced unit masonry*. Estados Unidos, 2009

8.3.1.2 Determinação da Consistência por Espalhamento

Este ensaio, ilustrado na figura 56, tem como objetivo a determinação da trabalhabilidade da argamassa no estado fresco. Ele foi realizado em todos os trabalhos aqui analisados, sendo que nos trabalhos portugueses, foi normatizado pela EN 1015-3:1998⁹³ e no caso do de Japiassú (2011), o ensaio foi normatizado pela NBR 13276:2002⁹⁴ e a amostra de argamassa ensaiada possuía 21% de teor de água.



Figura 56 – ensaio de consistência por espalhamento

(fonte: VALENTE, 2008, p. 44)

A metodologia empregue nos dois países, Portugal e Brasil, é basicamente a mesma. De acordo com o proposto por Simões (2011), as etapas foram:

- a. limpeza com pano úmido do molde em formato de tronco cônico e da mesa de espalhamento;
- b. colocação do molde no centro da mesa de espalhamento;
- c. deposita-se a argamassa no interior do molde em duas camadas, cada uma das quais compactada por pelo menos 10 vezes através de golpes proferidas por um soquete para assegurar o preenchimento uniforme do molde;

⁹³ COMITE EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **EN 1015-3**: *specification for mortar for masonry – part 3: determination of consistence of fresh mortar, standardization*. 1998.

⁹⁴ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.

- d. com uma colher de pedreiro, dispensa-se o excesso da argamassa do centro para as extremidades ao mesmo tempo que se alisa a superfície do molde;
- e. retira-se o molde e gira-se, de maneira constante, a manivela acoplada à mesa por 15 vezes ininterruptas, resultando no espalhamento da argamassa sobre a mesa;
- f. finalmente, é medido o diâmetro de espalhamento em duas direções ortogonais entre si.

8.3.1.3 Retenção de Água por Sucção com Bomba de Vácuo

Coelho et al., (2009) comenta que a retenção de água é uma propriedade muito importante na manutenção da plasticidade das argamassas, pois através dela é possível evitar a perda em excesso da água de amassadura por sucção para os blocos e tijolos. Ademais, a retenção de água pode ser considerada como uma medida indireta da plasticidade da cal, pois as cals plásticas têm uma grande capacidade de retenção de água, principalmente quando misturadas com agregados de origem fluvial.

O ensaio de retenção de água por sucção com bomba de vácuo, foi realizado por Japiassú (2011), de acordo com a NBR 13277:2005⁹⁵ nas argamassas produzidas pela autora, com a adição de 21% de teor de água.

A sequência executada durante o ensaio encontra-se listada abaixo e ilustrada na figura 57.

- a. sucção do excesso de água do papel filtro;
- b. medição de massa do conjunto formado pelo prato e papel filtro, após a sucção;
- c. medição de massa do conjunto prato, papel filtro e argamassa antes da sucção;
- d. sucção do conjunto prato, papel filtro e argamassa.

⁹⁵ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

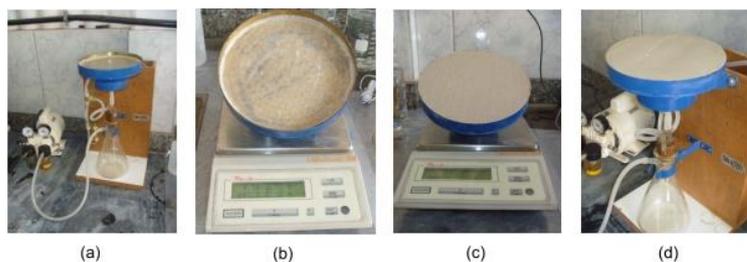


Figura 57 – ensaio de retenção de água por sucção com bomba de vácuo

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 144)

8.3.1.4 Determinação da Massa Volúmica (Densidade)

Este ensaio foi realizado nos trabalhos portugueses de Valente (2008) e Teixeira (2008) no qual é determinada a massa volúmica ou densidade da argamassa, que consiste na razão entre a massa do material e seu volume, ou seja, corresponde ao seu grau de compactação. (*home-page INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE*⁹⁶)

As etapas do ensaio, normatizado pela EN 1015-6:1999⁹⁷, são as seguintes:

- a. determinação da massa e volume do recipiente metálico utilizado para colocar a argamassa;
- b. preenchimento do recipiente até metade com a argamassa analisada;
- c. deixa-se cair o molde por 10 vezes;
- d. enche-se o restante do recipiente com a argamassa e deixa-se cair o molde mais 10 vezes;
- e. retira-se o excesso de material do recipiente, utilizando uma colher de pedreiro, com movimentos do centro para as extremidades, alisando a superfície composta pela argamassa;
- f. pesa-se o recipiente com a argamassa.

⁹⁶ <http://www1.ipq.pt/PT/Metrologia/Materiais%20Didaticos/Massa%20Vol%C3%BAmica%20-%20grandeza%20derivada%20cuja%20unidade%20%C3%A9%20o%20quilograma%20por%20metro%20c%203%BAbico.pdf>

⁹⁷ COMITE EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **EN 1015-6: specification for mortar for masonry – part 6: determination of consistence of fresh mortar, standardization.** 1999.

A massa volúmica é o valor da massa total do conjunto argamassa e recipiente, subtraído da massa do recipiente vazio pelo volume do recipiente.

8.3.2 Argamassas de Substituição no Estado Endurecido

No estado endurecido, os ensaios executados foram: resistência à tração por flexão e resistência à compressão; retração linear por secagem; susceptibilidade à fendilhação⁹⁸; densidade de massa aparente; determinação do módulo de elasticidade através da propagação de onda ultrassônica; avaliação da profundidade carbonatada; absorção de água por capilaridade, coeficiente de capilaridade e absorção total de água por imersão.

Na figura 58 estão dispostos os ensaios listados de acordo com as características que se pretende verificar com a obtenção de seus dados.



Figura 58 – organização dos ensaios das argamassas de substituição no estado endurecido

(fonte: elaborada pela autora)

⁹⁸“Compreende-se por fendilhação qualquer abertura longitudinal que atravessa toda a espessura do reboco, chegando a rompê-lo, tornando possível, portanto, distinguir bem as duas partes do elemento construtivo.” (MAGALHÃES, 2002, p. 5).

“A fissuração é definida como toda a abertura longitudinal curta, fina e com desenvolvimento discreto, que afeta somente a parte superficial do reboco ou o seu acabamento. Diferentemente das fendas, as fissuras possuem abertura mais estreita e nunca atingem os limites dos corpos considerados.” (MAGALHÃES, 2002, p. 5).

8.3.2.1 Resistência à Tração na Flexão e Resistência à Compressão

Os ensaios de resistência a tração na flexão e resistência à compressão, foram realizados por Japiassú (2011), normatizados pela NBR 13279:2005⁹⁹ e nos trabalhos portugueses de Teixeira (2008) e Simões (2011), ambos normatizados pela EN 1015-11:1999.¹⁰⁰

Os corpos de prova preparados para os ensaios no estado endurecido, foram moldados com a forma e dimensões de acordo com o normatizado no Brasil e em Portugal, ou seja, prismáticos com 4 cm x 4 cm x 16 cm.

Os moldes, em todos os trabalhos, foram preenchidos com argamassa em duas camadas, sendo que em cada uma delas, para propiciar uma maior compactação do material, foram aplicados 25 golpes através de um soquete. Simões (2011) ressalta que os moldes, antes de receberem a argamassa, precisam ser limpos e lubrificados com óleo, a fim de facilitar o desinforme da argamassa.

No ensaio realizado por Japiassú (2011), diferente do que recomenda a norma, os corpos de prova foram retirados dos moldes após sete dias da moldagem. A autora justifica o período além das 48 horas determinadas pela norma, devido a necessidade da argamassa de cal de um tempo maior para adquirir resistência suficiente para a desenforma.

Em todos os casos, após 28 dias, as amostras foram colocadas na prensa para os ensaios, primeiro de tração na flexão e após de resistência à compressão, como se verifica na figura 59.



Figura 59 – prensa e ensaios de resistência à tração na flexão e de compressão

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 147)

⁹⁹ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

¹⁰⁰ COMITE EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **EN 1015-11**: *methods of test for mortar for masonry - part 11: determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. 1998.

A resistência à tração na flexão foi obtida através da fórmula (9)

$$f = ((F.l)/(b.d^2)). 1,5 \quad (9)$$

Onde,

f – resistência à tração na flexão (MPa);

b – largura do prisma (mm);

d – espessura do prisma (mm);

l – distância entre apoios (mm);

F – carga aplicada no centro do prisma (N).

A resistência à compressão foi calculada com o auxílio da fórmula (7), capítulo 7.

8.3.2.2 Retração Linear por Secagem

A retração ou contração é uma propriedade relacionada com a diminuição do volume das argamassas, devido à evaporação da água de amassadura e ao processo de hidratação e carbonatação da cal. De acordo com Coelho et al. (2009, p. 76), “a retração é uma propriedade que condiciona de forma decisiva a durabilidade de uma argamassa, porquanto a fissuração por retração permite o acesso de substâncias agressivas que podem contribuir para a sua degradação.”.

A retração da argamassa pode ser verificada por meio de dois ensaios: o ensaio de retração linear e o ensaio de retração restringida (avaliado pelo ensaio de susceptibilidade à fendilhação por Teixeira, 2008).

O ensaio de retração linear executado por Japiassú (2011), é normatizado pela NBR 15261:2005¹⁰¹.

¹⁰¹ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15261**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da variação dimensional (retratação ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.

Para a verificação da retração linear por secagem, é utilizado um aparelho específico com o qual inicialmente é feita a leitura com uma barra de referência e depois com o corpo de prova após determinado tempo, conforme ilustra a figura 60.

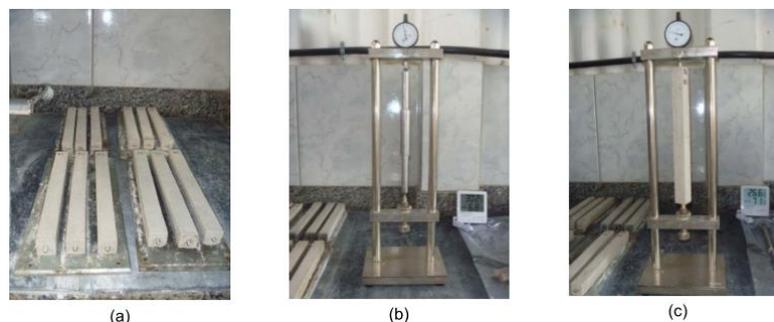


Figura 60 – (a) corpos de prova do ensaio de retração linear; (b) aparelho comparador com a barra de referência e (c) aparelho comparador com um corpo de prova

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 147)

Neste procedimento, foram usados corpos de prova de dimensões 2,5 cm x 2,5 cm x 28,5 cm, cujas leituras de massa foram realizadas 1 dia, 4 dias, 7 dias, 14 dias, 21 dias, 28 dias, 60 dias e 90 dias a contar da leitura inicial.

8.3.2.3 Susceptibilidade à Fendilhação

Este ensaio foi realizado em Portugal para o trabalho de Teixeira (2008), a fim de se avaliar a retração restringida. O ensaio seguiu as orientações da Fe Pa 37¹⁰², sendo executado no LNEC em estudos de investigação.

O autor informa que foram realizados seis ensaios, sendo que três para argamassas com metacaulim e três para argamassas sem metacaulim. A sequência do experimento está descrita abaixo e na figura 61 é possível visualizar o aparelho utilizado.

¹⁰² LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. **Fe Pa 37**: revestimentos de ligantes minerais para paredes – ensaio de susceptibilidade à fendilhação. Lisboa, 1998.



Figura 61 – aparelho usado no ensaio de susceptibilidade à fendilhação

(fonte: TEIXEIRA, 2008, p. 40)

- a. no primeiro momento, após a moldagem dos seis corpos de prova, envolveu-se com plástico as amostras compostas por metacaulim, segundo Teixeira (2011), esse procedimento deve-se às exigentes condições de cura do metacaulim;
- b. os corpos de prova foram colocados perpendicularmente à mesa onde estavam apoiados, de modo que sua extremidade superior seja fixada graças ao parafuso conectado ao transdutor da força;
- c. em seguida, “a força desenvolvida pela retração restringida da argamassa é medida pelo transdutor de força e registrada em um “data logger” (equipamento para armazenagem de dados) desde a moldagem até o final do ensaio (28 dias).” (TEIXEIRA, 2008, p. 40);
- d. executa-se de forma lenta a movimentação do parafuso, de modo que ocorra uma força de tração na amostra até o momento em que surja a ruptura e a abertura da primeira fenda, anulando completamente a resistência;
- e. as etapas descritas fornecem, através das fórmulas (10) e (11) os valores de coeficiente de resistência à evolução da fendilhação (CREF) e o coeficiente de segurança à abertura da 1ª fenda (CSAF), respectivamente.

$$CREF = (G/F_{r\text{máx}}) \quad (10)$$

$$CSAF = (R_t/F_{r\text{máx}}) \quad (11)$$

Onde,

G – energia de ruptura no ensaio de tração (N/mm);

$F_{\text{máx}}$ – força máxima medida durante o ensaio de retração restringida (N);

R_t – resistência à tração (N).

8.3.2.4 Densidade de Massa Aparente

A densidade de massa aparente tem ensaio normatizado pela NBR 13280:2005¹⁰³, no qual são determinados, a partir do uso de um paquímetro e de uma balança de precisão, os valores correspondentes à altura, largura e comprimento dos corpos de prova (figura 62), bem como a sua massa. Japiassú (2011) informa que foram realizadas três medições para cada dimensão analisada e no final calculada a média entre os valores encontrados.

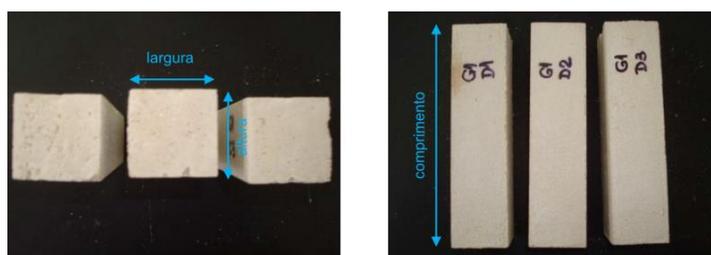


Figura 62 – medições realizadas para o ensaio de densidade de massa aparente

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 148)

8.3.2.5 Determinação do Módulo de Elasticidade (E)

O módulo de elasticidade dinâmico foi obtido mediante ensaios realizados por Japiassú (2011) seguindo o previsto na NBR 15630:2008¹⁰⁴ e por Teixeira (2008), conforme descrito no item 7.2.6.

¹⁰³ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

¹⁰⁴ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15630**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2008.

8.3.2.6 Profundidade Carbonatada

O ensaio de profundidade carbonatada, comentado no item 7.2.5, foi realizado nos corpos de prova preparados para os ensaios de resistência à aderência, constituídos, portanto, por revestimento cerâmico e argamassa de revestimento, conforme a figura 63.



Figura 63 – ensaio de profundidade carbonatada em corpo de prova

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 151)

Conforme Japiassú (2011), os passos necessários para a realização do ensaio foram:

- a. execução da fratura no corpo de prova, a partir de um vinco feito com o auxílio de uma maquina (ou serra mármore) no centro da superfície do azulejo;
- b. com o uso de uma talhadeira e uma marreta, foi aplicado um esforço na região do vinco, resultando na separação da superfície de revestimento;
- c. sobre as duas superfícies, foi pulverizada fenolftaleína.

A autora conclui informando que foram feitas três medições de profundidade carbonatada, calculando-se no final do experimento, a média entre os valores encontrados.

8.3.2.7 Determinação do Coeficiente de Absorção de Água por Capilaridade

Em seu trabalho, Japiassú (2011) relata a necessidade da realização de algumas alterações na NBR 15259:2005¹⁰⁵ que rege este ensaio. Uma delas tem a ver com o tempo destinado às medições, que na norma seria apenas para 10 e 90 minutos e a autora ampliou para 1, 2, 3, 4, 5, 10, 30, 60 e 90 minutos após a superfície do corpo de prova entrar em contato com a água.

¹⁰⁵ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

A outra alteração diz respeito ao contato da amostra com a água. A norma estabelece que o suporte onde estarão os corpos de prova propicie o contato com a maior área possível, entretanto neste ensaio a superfície de contato foi pontual, como demonstra a figura 64.



Figura 64 – ensaio de absorção de água por capilaridade: (a) vista geral e (b) suportes com e sem corpo de prova

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 149)

No ensaio conduzido por Valente (2008), utilizou-se corpos de prova prismáticos de dimensões 40 mm x 40 mm x 160 mm, de acordo com a Cahier 2669-4 CSTB¹⁰⁶.

Segundo o autor, foi colocada água até a altura de 5 mm em um recipiente e em seguida os corpos de prova, dispostos com a sua maior dimensão na posição vertical. Para cada ensaio, executados aos 28 e aos 90 dias, foram utilizados três corpos de prova.

O ensaio caracterizou-se pela medição do aumento de massa da amostra aos 10 minutos e aos 90 minutos. Ao final do ensaio é gerada uma curva na qual \sqrt{t} corresponde a abcissa e a expressão $100 \left(\frac{M}{S}\right)$ a ordenada, onde t é o tempo de ensaio e M e S são respectivamente a massa e a secção do corpo de prova.

O coeficiente de capilaridade calculado a partir da fórmula (2) do capítulo 6, corresponde então ao declive da reta entre os pontos $\sqrt{10}$ min e $\sqrt{90}$ min.

8.3.2.8 Determinação da Absorção Total por Imersão

Este ensaio, que não é normatizado no Brasil, foi realizado por Japiassú (2008) logo após a conclusão do ensaio de absorção de água por capilaridade, de acordo com as etapas seguintes:

¹⁰⁶ CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation – Modalités d'essais. **Cahiers du CSTB**, Paris, Livraison 341, n. **2669-4**, juil-août. 1993.

- a. os corpos de prova utilizados no ensaio anterior foram totalmente imersos em água (figura 65) e lá ficaram por 24 horas;



Figura 65 – corpos de prova imersos em água para realização do ensaio de absorção total por imersão

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 150)

- b. concluído esse tempo, foi realizada a medição da massa das amostras com uma balança de precisão;
- c. de posse dos valores obtidos, e através da fórmula (8) do capítulo 7, calculou-se a percentagem referente a absorção total por imersão da argamassa.

8.4 ANÁLISE DOS DADOS

A exemplo dos capítulos 6 e 7, serão aqui apresentados e discutidos os resultados dos ensaios descritos anteriormente, assim como o parecer de seus autores. Tais dados foram separados de acordo com as características que representam.

8.4.1 Argamassas de Substituição no Estado Plástico

8.4.1.1 Quanto à Consistência da Argamassa

- a. Determinação da Consistência pela Penetração do Cone

Ensaio realizado por Japiassú (2011) cuja finalidade foi a de caracterizar não apenas a argamassa proposta para restauração (cuja relação H, água/materiais secos, é igual a 21%), mas também de determinar a consistência da argamassa utilizada na moldagem da camada de regularização (H= 21%) e da argamassa de assentamento dos corpos de prova utilizados no ensaio de aderência (não analisado neste trabalho). Os valores obtidos estão dispostos na tabela 24.

Tabela 24 – valores obtidos dos ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco

JAPIASSÚ, 2011					
Argamassa	Índice de consistência médio (mm)			Espalhamento médio (mm)	Retenção de água (%)
	Argamassa caracterização H = 21%	Argamassa regularização H = 21%	Argamassas assentamento H = 24%	Argamassa caracterização H = 21%	Argamassa caracterização H = 21%
A	25	---	63	244	95
B	28	---	60	238	94
C	26	30	61	233	93
D	25	---	62	247	94

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 163)

Como se nota observando a tabela 24, as amostras de argamassas para restauração, identificadas na tabela como argamassa caracterização, possuem índices de consistência médios muito próximos entre si. Já a adição de 3% de água nas argamassas para assentamento dos corpos de prova para o ensaio de adesão, alcançaram valores de índice de consistência acima do dobro verificado nas argamassas com H igual à 21%.

b. Determinação da Consistência por Espalhamento

O ensaio para a determinação da consistência por espalhamento efetuado por Valente (2008) e Teixeira (2008) resultou em valores iguais, sendo assim, apenas os dados deste último autor foram apresentados na tabela 25, onde também está informado a quantidade de água utilizada em cada amostra. Os autores salientaram que os resultados derivam da média entre quatro resultados para cada amostra analisada.

Tabela 25 – consistência por espalhamento das amostras de argamassa analisadas

PESQUISA	Argamassa	Água (ml)	Espalhamento (mm)
	TEIXEIRA, 2008	<i>COR</i>	420
<i>COM</i>		490	133,25
<i>CORM</i>		430	124,00
<i>CRM</i>		430	124,50

(fonte adaptada de TEIXEIRA, 2008, p. 61)

A amostra COM (cal, metacaulim e saibro), que resultou em um maior espalhamento (133,25 mm), de acordo com a tabela 25 também é a que possui maior quantidade de água (490 ml). Segundo Teixeira (2008), adicionou-se mais água a essa amostra devido a reação do metacaulim com a cal consumir bastante água. Além disso, o saibro, sendo um material argiloso, absorve mais rapidamente a água de amassamento, forçando a adição de mais água para se atingir uma plasticidade adequada. Em contrapartida, a amostra COR, a única sem a adição de metacaulim, foi a que necessitou de quantidade menor de água de amassamento, resultando também em uma consistência de espalhamento menor (119,50 mm).

O ensaio de consistência por espalhamento na mesa ABNT, realizado por Japiassú (2011) resultou em valores muito próximos para as quatro amostras (tabela 24).

8.4.1.2 Quanto à Compactação da Argamassa

a. Retenção de Água por Sucção com Bomba de Vácuo

Ensaio realizado no trabalho de Japiassú (2011), onde é possível verificar, da análise da tabela 24, que ocorreu uma proximidade nos valores de retenção de água para as quatro amostras de argamassa. Do exposto, a autora observa que quando a relação de água é fixa ($H = 21\%$), não se verifica relação entre a retenção de água e o teor de metacaulim aplicado.

b. Determinação da Massa Volúmica

Conforme já mencionado no capítulo destinado a descrição dos ensaios (item 8.3), a massa volúmica corresponde ao grau de compactação da argamassa.

Nos trabalhos de Valente (2008) e Teixeira (2008), foram obtidos os seguintes resultados, apresentados na tabela 26.

Tabela 26 – massa volúmica obtida para as amostras de argamassa

PESQUISA	Argamassa	Massa Volúmica (g/dm ³)
	TEIXEIRA, 2008	<i>COR</i>
<i>COM</i>		1969,15
<i>CORM</i>		2007,10
<i>CRM</i>		2001,65

(fonte adaptada de TEIXEIRA, 2008, p. 61)

Através da análise da tabela 26, constata-se que as argamassas CORM e CRM, possuem valores próximos de massa volúmica. Teixeira (2008) salienta que a amostra COR, cujo valor registado foi o mais alto (2037,6 g/dm³), não possui metacaulim em sua composição. Provavelmente esse fato justifica o alto valor de massa volúmica dessa amostra, uma vez que a ausência do metacaulim foi compensada por uma quantidade maior de areia de rio na composição, cuja massa volúmica individual é superior em relação às outras matérias primas, conforme se verifica na tabela 27 abaixo.

Tabela 27 – massa volúmica aparente das matérias primas

PESQUISA	Material	Massa volúmica aparente (g/dm ³)
TEIXEIRA, 2008	Areia de rio	1620,32
	Saibro	1507,28
	Metacaulino	476,07
	Cal	469,87

(fonte adaptada de TEIXEIRA, 2008, p. 56)

8.4.2 Argamassas de Substituição no Estado Endurecido

8.4.2.1 Quanto às Características Mecânicas

a. Resistência à Tração na Flexão e Resistência à Compressão

Na tabela 28, estão apresentados os resultados do ensaio de Japiassú (2011) para a resistência à tração e à compressão das amostras de argamassas aos 28 dias de cura.

Tabela 28 – valores médios para a resistência à tração na flexão e à compressão das amostras de argamassas

JAPIASSÚ, 2011		
Argamassa	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
A	0,5	1,1
B	0,6	2,3
C	0,9	4,9
D	1,3	7,6

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 164)

Segundo a autora, a argamassa A obteve os menores resultados para ambos ensaios de resistência, devido à ausência do metacaulim na sua composição.

A fim de obter uma melhor compreensão a respeito da influência do metacaulim nas resistências à tração na flexão e à compressão nas argamassas de cal, a autora elaborou um gráfico, representado pela figura 66 relacionando linearmente cada uma das resistências mencionadas com o metacaulim.

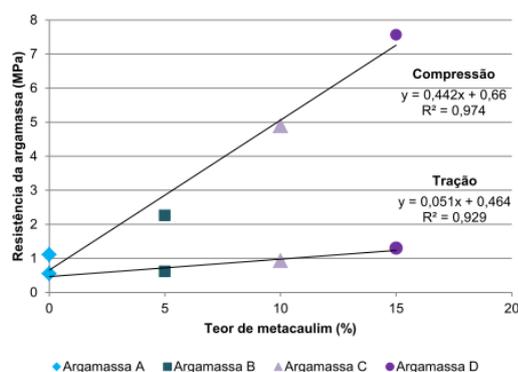


Figura 66 – relação entre as resistências à compressão e à tração na flexão e o teor de metacaulim

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 165)

De acordo com o gráfico da figura 66, percebe-se que a resistência à compressão da argamassa é muito mais sensível à presença e ao aumento do teor de metacaulim do que a resistência à tração na flexão.

No trabalho de Teixeira (2008), o ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão nas amostras de argamassa aos 28 e 90 dias, resultou nos valores da tabela 29 e 30, respectivamente.

A partir dos dados das tabelas 29 e 30, verifica-se que a argamassa sem metacaulim na sua composição (COR), a exemplo do constatado no trabalho de Japiassú (2011), obteve os menores valores de resistência, tanto aos 28 dias quanto aos 90 dias de cura em ambos os ensaios.

Além disso, verificou-se também que as amostras compostas apenas por um dos tipos de areia (COM e CRM) obtiveram resistências, em ambos ensaios e aos 28 e 90 dias de cura, superiores em relação à amostra CORM composta pelos outros tipos de areia (areia de rio e areia de Ovar).

A amostra COM, cuja composição é constituída por cal, metacaulim e areia de Ovar ou saibro, foi a única entre as quatro amostras, que aumentou ambas as resistências dos 28 para os 90 dias de cura. Em contrapartida, a amostra sem metacaulim, COR, demonstrou certa regularidade tanto no ensaio de resistência à tração quanto no ensaio de resistência à compressão, no decorrer dos dias de cura (de 28 para 90 dias).

Tabela 29 – valores médios para a resistência à tração na flexão das amostras de argamassas

PESQUISA	Amostras	Flexão			
		28d		90d	
		Rf médio (MPa)	D.P.	Rf médio (MPa)	D.P.
TEIXEIRA, 2008	COM	0,52	0,08	0,79	0,12
	CRM	0,42	0,13	0,41	0,01
	CORM	0,37	0,05	0,26	0,08
	COR	0,20	0,02	0,20	0,05

D.P.= Desvio Padrão

(fonte adaptada de TEIXEIRA, 2008, p. 66)

Tabela 30 – valores médios para a resistência à tração na compressão das amostras de argamassas

PESQUISA	Amostras	Resistência à compressão			
		28d		90d	
		Rc médio (MPa)	D.P.	Rc médio (MPa)	D.P.
TEIXEIRA, 2008	COM	2,78	0,08	3,15	0,64
	CRM	2,63	0,02	1,82	0,34
	CORM	2,18	0,08	1,66	0,03
	COR	0,62	0,01	0,65	0,03

D.P.= Desvio Padrão

(fonte adaptada de TEIXEIRA, 2008, p. 67)

Na figura 67 estão ilustrados através de gráficos, os resultados obtidos com os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão para as amostras com idade de 28 dias, dos trabalhos de Japiassú (2011) e Teixeira (2008).

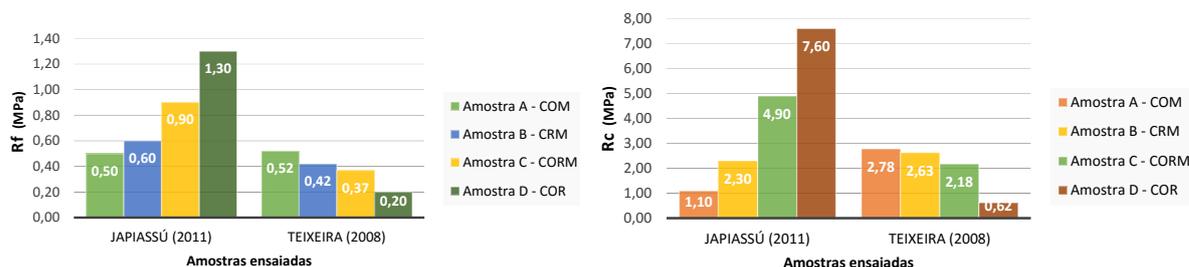


Figura 67 – resistência à flexão na tração e à compressão para amostras com idade de 28 dias dos trabalhos de Japiassú (2011) e Teixeira (2008)

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011 e TEIXEIRA, 2008)

b. Módulo de Elasticidade

Na tabela 31 constam os dados obtidos por Japiassú (2011) correspondentes ao ensaio de módulo de elasticidade nas quatro amostras de argamassas ensaiadas. A exemplo do que foi feito para o ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão, a autora também elaborou um gráfico relacionando o teor de metacaulim com o módulo de elasticidade, conforme a figura 68.

Tabela 31 – valores médios para a resistência à tração na flexão e à compressão das amostras de argamassas

JAPIASSÚ, 2011	
Argamassa	Módulo de elasticidade (MPa)
A	3740
B	3876
C	5048
D	7201

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 170)

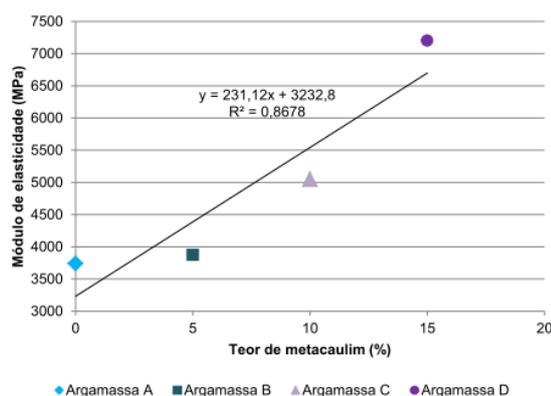


Figura 68 – relação entre o módulo de elasticidade dinâmico e o teor de metacaulim

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 170)

A partir da tabela 31 e da figura 68, nota-se a relação direta do aumento do módulo de elasticidade com o aumento do teor de metacaulim. Segundo Japiassú (2011), essa relação se justifica pelas características de porosidade e densidade das argamassas.

Com relação ao ensaio de Teixeira (2008), cuja medição do módulo de elasticidade se realizou com o auxílio de três métodos: frequência de ressonância, ultrassons com transdutores normais e ultrassons com transdutores exponenciais, optou-se por não divulgar os dados do ensaio obtidos de acordo com o último método, uma vez que o próprio autor comprovou em seu

trabalho não se tratar de procedimento inteiramente confiável. Além disso, também foi verificado que dos resultados dos dois primeiros métodos resultaram valores muito semelhantes.

Sendo assim, a partir do ensaio realizado por frequência de ressonância, os valores obtidos para o módulo de elasticidade das amostras ensaiadas estão representados na tabela 32.

Tabela 32 – valores médios do módulo de elasticidade dinâmico por frequência de ressonância

PESQUISA	Amostra	M.E. por frequência de ressonância			
		28d		90d	
		Emédio (MPa)	D.P.	Emédio (MPa)	D.P.
TEIXEIRA, 2008	COM	3810	331	2944	75
	CRM	3300	40	2448	35
	CORM	2905	153	1673	111
	COR	2970	35	2995	52

D.P.= Desvio Padrão

(fonte adaptada de TEIXEIRA, 2008, p. 62)

De acordo com a tabela 32, percebe-se que a argamassa sem metacaulim (COR) praticamente manteve seu valor de módulo de elasticidade nas duas idades, inclusive aumentando um pouco o seu valor, passando de 2970 MPa, aos 28 dias de cura, para 2995 MPa aos 90 dias de cura.

O mesmo não aconteceu em relação às demais amostras cujas composições possuem metacaulim: em todos os casos, houve decréscimo do valor do módulo de elasticidade ao longo do tempo. Segundo Teixeira (2008, p. 65), “[...] este dado revela que o metacaulim tem, em uma primeira fase, uma influência positiva no E e em uma fase posterior contribui negativamente para o mesmo.”.

Na tabela 32, também se nota, assim como no ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão, que as amostras compostas por agregados de um só tipo de areia (COM e CRM) possuem valores de módulo de elasticidade superiores em relação à amostra CORM, que possui 50% de areia de rio e 50% de saibro na sua composição.

Na figura 69 estão representados graficamente os valores do módulo de elasticidade para amostras de argamassa com idade de 28 dias, obtidos nos trabalhos de Japiassú (2011) e Teixeira (2008).

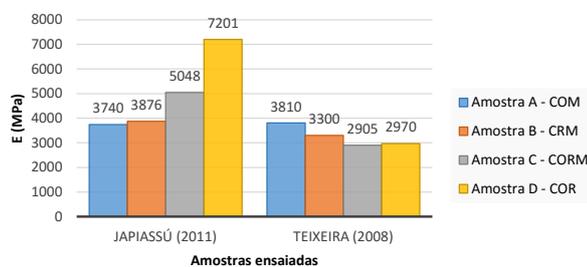


Figura 69 – módulo de elasticidade para amostras com idade de 28 dias dos trabalhos de Japiassú (2011) e Teixeira (2008)

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011 e TEIXEIRA, 2008)

c. Retração Linear por Secagem

Conforme explica Japiassú (2011), a avaliação da retração linear por secagem está relacionada com a variação dimensional dos corpos de prova, através da redução e aumento de suas dimensões e com a variação de massa ao longo do tempo.

A média dos valores relacionados com a variação dimensional das amostras de argamassas em várias idades, após a desforma dos corpos de prova, podem ser verificadas na tabela 33. Logo em seguida, apresenta-se através da figura 70, o gráfico criado pela autora relacionando a porcentagem de retração com o tempo de cura de cada amostra analisada.

Tabela 33 – valores médios da variação dimensional das amostras de argamassas

JAPIASSÚ, 2011								
Argamassa	Média variação dimensional (mm/m)							
	Idade 1	Idade 4	Idade 7	Idade 14	Idade 21	Idade 28	Idade 60	Idade 90
A	-1,89	-2,31	-2,58	-2,63	-4,62	-4,65	-2,81	-2,89
B	-0,68	-0,39	-1,40	-1,64	-1,66	-1,67	-1,66	-1,73
C	-0,18	-0,06	-0,59	-0,92	-12,04	-1,04	-1,02	-1,11
D	-0,16	-0,33	-0,51	-0,99	-1,26	-1,27	-1,28	-1,32

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 166)

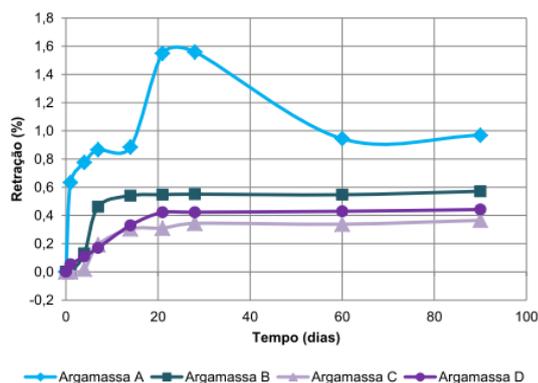


Figura 70 – relação entre a porcentagem de retração e a idade das amostras de argamassas

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 166)

Observando a tabela 33 e o gráfico da figura 70, nota-se que todas as amostras apresentaram retração linear, sendo que a argamassa A, que não possui metacaulim na sua composição, demonstra maiores valores de retração linear do que as demais. Dentre as argamassas com metacaulim, a amostra C, com 10% dessa matéria prima, foi a que menos variou na sua retração linear ao longo do tempo, podendo ser considerada, segundo a autora, como o teor ótimo de metacaulim para redução da retração.

Constata-se, portanto, segundo Japiassú (2011), que a presença de metacaulim nas argamassas propiciou uma redução na retração das mesmas. Além disso, as curvas de variação dimensional das amostras revelam a intensa retração linear nas primeiras idades após a desforma, sendo que nas amostras com metacaulim, nota-se uma estabilização na idade de 14 dias e na amostra A (sem metacaulim), a tendência à estabilização é próxima da idade de 60 dias.

Conforme explica Japiassú (2011), a retração da argamassa costuma ser relacionada com a perda de água. Entretanto, se for fixado o teor de água em relação aos materiais secos (no caso do trabalho de Japiassú (2011), essa relação de H foi mantida em 21%), é possível relacionar a retração não com a variação da quantidade de água, mas sim com o teor de metacaulim presente na composição.

Partindo deste princípio, a autora elaborou o gráfico ilustrado na figura 71, o qual relaciona a retração linear média aos 90 dias de idade e o teor de metacaulim das amostras. Este gráfico comprova então, que até teores de 10% de metacaulim, quanto maior for a porcentagem de metacaulim na argamassa, menor será sua retração linear aos 90 dias de idade, contados após a desforma dos corpos de prova.

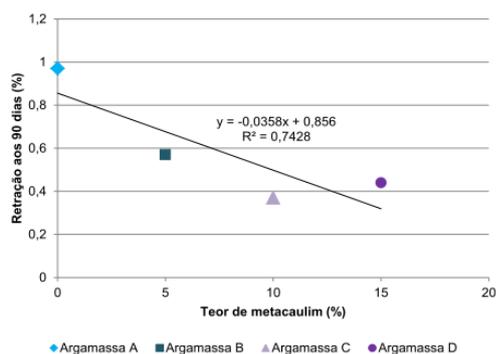


Figura 71 – relação entre a porcentagem de retração aos 90 dias de idade e o teor de metacaulim

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 167)

Com relação a variação da massa das amostras ao longo de diversas idades contadas após a desmoldagem dos corpos de prova, a tabela 34 apresenta os resultados obtidos no trabalho de Japiassú (2011), complementando a informação com o gráfico ilustrado na figura 72.

Tabela 34 – média da variação de massa ao longo de várias idades para as amostras de argamassa

JAPIASSÚ, 2011								
Argamassa	Média da variação de massa (%)							
	Idade 1	Idade 4	Idade 7	Idade 14	Idade 21	Idade 28	Idade 60	Idade 90
A	-0,8	-2,2	-4,6	-11,6	-13,7	-13,4	-11,4	-10,6
B	-0,8	-3,0	-6,1	-13,2	-13,0	-12,6	-10,8	-10,0
C	-1,4	-5,1	-8,2	-11,7	-12,4	-12,5	-10,9	-10,2
D	-1,8	-5,0	-6,8	-10,4	-12,3	-12,3	-10,9	-10,5

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 168)

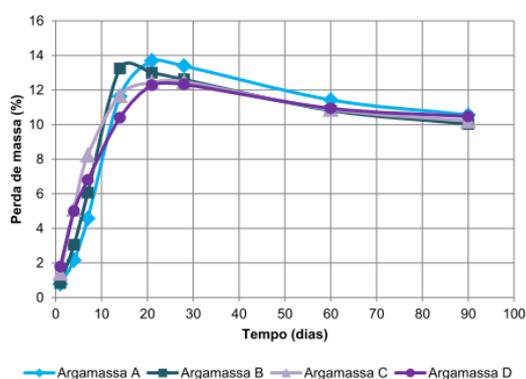


Figura 72 – gráfico relacionando a perda de massa com as várias idades para as amostras de argamassa

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 168)

É possível perceber através do gráfico da figura 72, que nas primeiras idades ocorre acentuada perda de massa provavelmente devido, segundo Japiassú (2011), a perda de água por evaporação. Ainda de acordo com a autora, após os 21 dias de idade, as argamassas A (sem metacaulim) e B (com 5% de metacaulim), começam a aumentar de massa, o mesmo acontecendo com as argamassas C e D (respectivamente com 10% e 15% de metacaulim) após os 28 dias.

A explicação para esse fato, conforme Japiassú (2011) relaciona-se com a carbonatação da argamassa, uma vez que nesse processo ocorre a transformação do hidróxido de cálcio da cal hidratada em calcita, cuja massa molecular é superior à do hidróxido de cálcio. Além disso, como as amostras A e B possuem quantidades maiores de cal se comparadas às amostras C e D, é justificável que seu aumento de massa devido a carbonatação da cal ocorra mais rapidamente que nas outras amostras.

d. Susceptibilidade à Fendilhação – Retração Restringida

Conforme Coelho et al. (2009) citando Veiga e Souza¹⁰⁷ (2004), “[...] quando a argamassa é aplicada sobre um suporte, à medida que se dá a secagem, vai se desenvolvendo a retração, que é restringida pela aderência ao suporte [...]”. Este processo gera tensões na argamassa, sendo que são estas tensões que provocam fissuras e não as tensões de retração propriamente ditas. Portanto, para Veiga e Souza (2004), a retração restringida é a propriedade que mais caracteriza o comportamento das argamassas de revestimento. (COELHO et al., 2009)

Através do ensaio de susceptibilidade à fendilhação, descrito no item 8.3.2.3, obtêm-se os valores dos coeficientes de resistência à evolução da fendilhação (CREF) e de segurança à abertura da 1ª fenda (CSAF).

Em seu trabalho, Teixeira (2008) analisou dois tipos diferentes de amostras, uma sem metacaulim (COR) e a outra com metacaulim (CORM), resultando nos dados dispostos na tabela 35.

¹⁰⁷ VEIGA, M. do R.; SOUZA, R. H. F. Metodologia de Avaliação da Retração Livre das Argamassas desde a sua Moldagem. **Revista de Engenharia Civil, Universidade do Minho**, Portugal. n. 20, 2004. p. 45-56. Disponível em: < <http://www.civil.uminho.pt/cec/revista/Num20/Pag%2045-56.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2016.

Tabela 35 – valores do ensaio de susceptibilidade à fendilhação

TEIXEIRA, 2008					
Argamassa	F_{máx} (N)	R_t (N)	G (N/mm)	CSAF	CREF (mm)
COR	64,40	103,10	46,10	1,60	0,80
CORM	67,00	207,90	46,80	3,70	0,80

(fonte adaptada de TEIXEIRA, 2008, p. 68)

Segundo o autor, apesar da amostra COR ter resultado em um coeficiente de segurança à abertura da 1ª fenda (CSAF) cerca da metade do valor obtido com a amostra CORM, ambas podem ser enquadradas na classe média em relação a susceptibilidade à fendilhação, cujas classes são: baixa, média e alta. Teixeira (2008) complementa esta explicação informando que o valor encontrado para a amostra COR corresponde a um resultado um pouco mais baixo que o usualmente verificado nesses ensaios e que provavelmente isso ocorreu devido a influência do tipo de areia empregue nessa argamassa.

De acordo com a tabela 35, nota-se também que a força máxima desenvolvida por retração restringida (F_{máx}) nas duas argamassas corresponde a valores muito próximos e igualmente pequenos, indicando, segundo Teixeira (2008) “[...] uma boa compatibilidade destas argamassas com suportes antigos e com azulejos antigos,”.

8.4.2.2 Quanto às Características Físicas e Químicas

a. Densidade de Massa Aparente

Os valores médios obtidos por Japiassú (2011) para o ensaio de densidade de massa aparente das amostras de argamassa aos 28 dias de cura, encontram-se na tabela 36. Na sequência, o gráfico da figura 73 ilustra a relação entre a densidade de massa aparente e o teor de metacaulim para as quatro amostras ensaiadas.

Tabela 36 – resultados médios do ensaio de densidade aparente no estado endurecido por amostra

JAPIASSÚ, 2011	
Argamassa	Densidade média (kg/m³)
A	2193
B	2230
C	2245
D	2371

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 169)

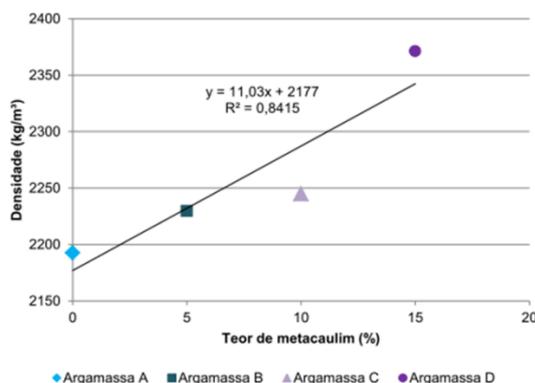


Figura 73 – relação entre a densidade de massa aparente aos 28 dias e o teor de metacaulim

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 169)

Como comprova o gráfico da figura 73 e confirma Japiassú (2011), aumentando o teor de metacaulim na composição da argamassa, observa-se uma tendência de aumento da sua densidade de massa aparente. Na tabela 36 verifica-se que a amostra D, contendo a maior percentagem (15%) de metacaulim dentre as quatro amostras, possui o maior valor de densidade média (2371 kg/m^3), confirmando esta hipótese.

A autora salienta que provavelmente os valores mais altos de densidade devem-se ao aumento do teor de finos pela presença do metacaulim, que “[...] provocam um grau de empacotamento maior nessas argamassas.”. (JAPIASSÚ, 2011, p. 169).

b. Profundidade Carbonatada

Japiassú (2011) explica que a profundidade carbonatada em uma argamassa está relacionada com a estrutura de seus poros de tal maneira que, quanto maior a permeabilidade, maior é a frente de carbonatação.

No ensaio de profundidade carbonatada, as amostras foram avaliadas aos 28 e 90 dias de cura, obtendo-se os valores da tabela 37

Tabela 37 – resultados médios da profundidade carbonatada das argamassas aos 28 dias e 90 dias de cura

JAPIASSÚ, 2011		
Argamassa	Profundidade carbonatada (mm)	
	28 dias	90 dias
A	4,7	10,7
B	4,2	10,3
C	4,5	8,7
D	4,5	8,3

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 174)

Conforme verificado na tabela 37, os maiores valores da profundidade carbonatada são referentes à amostra de argamassa A, sem a adição de metacaulim, possuindo assim uma percentagem maior de cal dentre todas as amostras ensaiadas.

Como já era esperado, uma vez que a carbonatação da cal acontece de forma lenta e gradual, nota-se um aumento da profundidade carbonatada em todas as amostras dos 28 aos 90 dias de idade. Japiassú (2011, p. 174) inclusive salienta que “em média, as argamassas apresentaram 9,5 mm de profundidade carbonatada aos 90 dias, que corresponde ao dobro da média obtida aos 28 dias, de 4,5 mm.”.

8.4.2.3 Quanto à Absorção de Água

a. Absorção de Água por Capilaridade

A absorção de água por capilaridade ensaiada ao longo de 90 minutos após o contato do corpo de prova com a água, no trabalho de Japiassú (2011), resultou nos valores apresentados na tabela 38 e ilustrados no gráfico da figura 74.

Tabela 38 – resultados médios de absorção de água por capilaridade das amostras

JAPIASSÚ, 2011				
Tempo (minutos)	Absorção média (g/cm ²)			
	Argamassa A	Argamassa B	Argamassa C	Argamassa D
0*	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,36	0,28	0,36	0,27
2	0,47	0,43	0,45	0,35
3	0,56	0,52	0,53	0,41
4	0,62	0,59	0,58	0,47
5	0,69	0,65	0,64	0,52
10	0,97	0,93	0,87	0,67
30	1,59	1,55	1,39	1,03
90	2,57	2,52	2,20	1,72

* A massa referente ao tempo 0 é da massa seca do corpo-de-prova.

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 171)

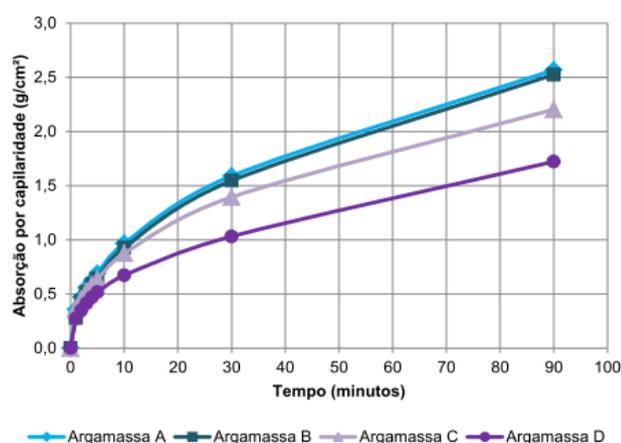


Figura 74 – gráfico relacionando a absorção de água com o tempo

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 171)

Através da análise da tabela 38 e da figura 74, comprova-se que a ausência de metacaulim na argamassa ou a adição de uma pequena percentagem, como 5% (respectivamente amostras A e B), não tem grande interferência na sua absorção de água ao longo do tempo. Porém, o aumento da quantidade de metacaulim utilizado, notadamente a partir de 10% (amostra C) influencia nitidamente nessa absorção, diminuindo-a.

Com relação ao coeficiente de capilaridade e teor de metacaulim adicionado na argamassa, cujos dados podem ser conferidos na tabela 39 e no gráfico da figura 75, observa-se uma relação direta, também a partir de 10% de adição de metacaulim (amostra C). Além disso, observa-se que as amostras A e B apresentaram sensivelmente o mesmo valor de coeficiente de capilaridade.

Tabela 39 – coeficiente de capilaridade médio das argamassas

JAPIASSÚ, 2011		
Argamassa	Coeficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	Coeficiente de capilaridade (Kg/m ² .h ^{1/2}) ³¹
A	25,6	19,60
B	25,6	19,57
C	21,3	16,27
D	15,5	11,87

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 172)

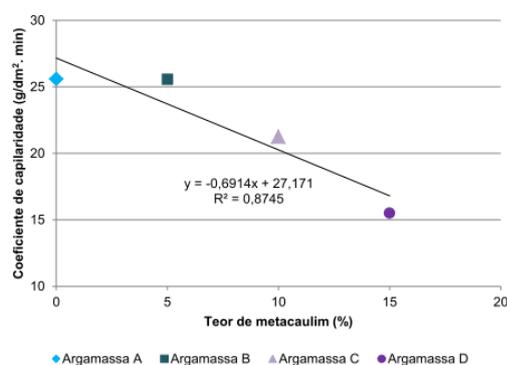


Figura 75 – relação entre o coeficiente de capilaridade médio das argamassas e o teor de metacaulim

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 172)

No trabalho de Valente (2008), cujos gráficos estão ilustrados na figura 76, executou-se ensaio de absorção de água por capilaridade e de coeficiente de capilaridade (tabela 40) nas amostras durante 28 dias e 90 dias de cura. É importante destacar que as amostras, neste ensaio, que possuem metacaulim na sua composição, receberam a mesma quantidade desta matéria prima, diferente das amostras do ensaio de Japiassú (2011), no qual as amostras, com exceção da A, apresentavam teores diferentes de metacaulim.

Tabela 40 – média do coeficiente de capilaridade aos 28 e 90 dias

PESQUISA	Amostras	Coeficiente de Capilaridade (kg/m ² .h ^{1/2})			
		28 dias		90 dias	
		Média	D.P.	Média	D.P.
VALENTE, 2008	<i>COR</i>	10,94	0,10	10,15	0,25
	<i>COM</i>	8,01	2,64	12,93	0,89
	<i>CORM</i>	8,64	2,03	13,73	0,21
	<i>CRM</i>	8,71	1,42	13,04	0,23

D.P. = Desvio Padrão

(fonte adaptada de VALENTE, 2008, p. 81)

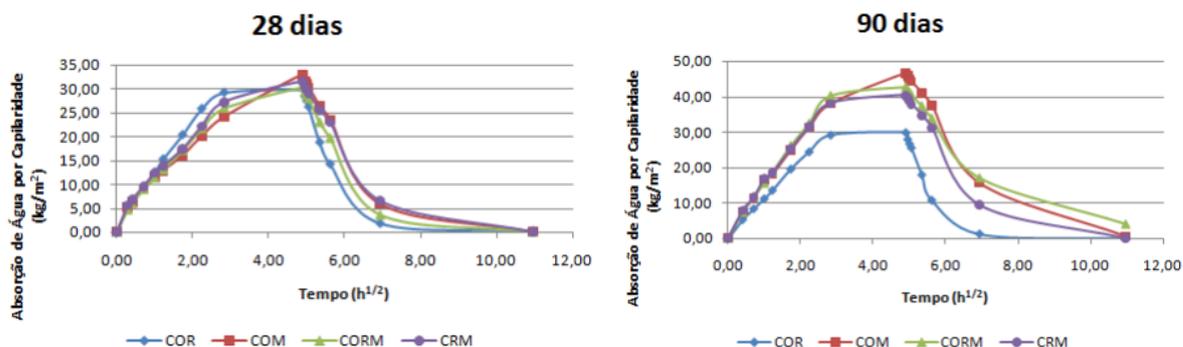


Figura 76 – absorção de água por capilaridade das amostras aos 28 dias e 90 dias, respectivamente

(fonte adaptada de VALENTE, 2008, p. 81)

Conforme a autora, e mediante a observação dos gráficos da figura 76 e da tabela 40, é possível notar que aos 28 dias de cura não ocorreu mudança significativa na absorção de água por capilaridade entre as quatro amostras ensaiadas. Contudo, é importante destacar que a amostra COR (sem metacaulim) foi a que obteve o maior coeficiente de capilaridade, de acordo com a tabela, propiciando uma secagem mais rápida com relação as demais, conforme Valente (2008).

Entretanto, de acordo com o gráfico representativo do ensaio aos 90 dias, na figura 76 e a tabela 40, a situação verificada aos 28 dias se altera completamente, uma vez que amostra sem metacaulim, COR, passa a absorver muito menos água ao longo do tempo, apresentando, um coeficiente de capilaridade menor que o das outras três amostras. Segundo Valente (2008), esse comportamento verificado na amostra COR, é explicado pelo processo de carbonatação dessa amostra, que ao longo do tempo e de forma progressiva, acarreta a diminuição da capacidade da argamassa em absorver água.

b. Absorção de Água por Imersão

Ensaio realizado no tempo de 24 horas, por Japiassú (2011), cujo resultados podem ser visualizados na tabela 41.

Tabela 41 – média de absorção de água por amostra de argamassa

JAPIASSÚ, 2011	
Argamassa	Média da absorção(%)
A	17,2
B	17,3
C	16,8
D	16,8

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 173)

No exposto na tabela, nota-se que a presença do metacaulim não interfere na capacidade de absorção de água por imersão pelas amostras, uma vez que foram obtidas percentagens muito próximas entre si.

8.5 CONCLUSÕES PARCIAIS

A fim de uma melhor compreensão acerca do que foi discutido neste capítulo, na sequência estão organizadas conclusões de acordo com as características das argamassas, tanto no estado plástico quanto no endurecido.

8.5.1 Argamassas de Substituição no Estado Plástico

a. Quanto à Consistência da Argamassa

Conforme o esperado e observado nas tabelas 24 e 25, o aumento do índice de espalhamento da argamassa é uma consequência direta da adição de mais água de amassamento à mistura. No ensaio feito por Japiassú (2011), aumentando a relação água/materiais secos em 3%, o índice de espalhamento pela penetração do cone aumentou em mais de 100%.

No ensaio realizado por Teixeira (2008) e Valente (2008), verificou-se que a presença de metacaulim na composição demanda uma maior quantidade de água de amassamento.

b. Quanto à Compactação da Argamassa

De acordo com a tabela 24, nota-se que não houve grande variação entre os valores obtidos para a retração linear ensaiado por Japiassú (2011). A autora conclui que quando a relação água/materiais secos é fixa (no caso $H = 21\%$), não se verifica relação entre a retenção de água e o teor de metacaulim aplicado.

No ensaio de determinação da massa volúmica, a amostra com maior valor (tabela 26) foi a denominada COR, a única sem metacaulim na sua composição. Uma vez que nessa amostra há uma quantidade maior de areia que nas demais e que a areia tem alto valor de massa volúmica (tabela 27), esta seria a explicação plausível para o fato.

8.5.2 Argamassas de Substituição no Estado Endurecido

a. Quanto às Características Mecânicas

De acordo com os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão realizados por Japiassú (2011) e por Teixeira (2008), foi possível comprovar a influência do metacaulim no aumento dessas resistências, inclusive a médio prazo, como foi verificado nas tabelas 28, 29 e 30 e na figura 66.

Em relação aos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão, através do ensaio de Teixeira (2008), constatou-se que a argamassa tem ambas as resistências diminuídas quando possui em sua composição a mistura formada por 50% de areia de rio e 50% de areia de Ovar ou saibro. Como contraponto, a amostra apenas com o agregado da área de Ovar ou saibro, foi a que obteve as maiores resistências nos dois ensaios, com a cura, conforme tabelas 29 e 30.

No ensaio para obtenção dos módulos de elasticidade das argamassas, de acordo com o gráfico da figura 68, comprova-se que também neste caso, que o aumento do teor de metacaulim tem relação direta com o aumento do módulo de elasticidade nas argamassas. Entretanto, conforme o ensaio de Teixeira (2008) e tabela 32, com a cura ocorre diminuição do módulo de elasticidade quando há metacaulim na amostra, como pôde ser observado para todas as três amostras (COM, CORM e CRM) que possuíam essa matéria prima na sua composição.

Através do ensaio de retração linear por secagem, realizado por Japiassú (2011), foi possível constatar que a presença do metacaulim nas argamassas está diretamente relacionado com a redução da retração linear, além de também propiciar a estabilização desta retração mais cedo (aos 14 dias de idade) do que nos casos de argamassas sem metacaulim (aos 60 dias de idade), conforme se verificou através do gráfico da figura 70.

Também conforme a tabela 33 e a figura 70, a autora considerou a adição de 10% de metacaulim como o teor ótimo (dentre as amostras estudadas) na redução da retração de uma argamassa.

b. Quanto às Características Físicas e Químicas

Conforme o ensaio de densidade de massa aparente, foi possível constatar (tabela 36 e figura 73) que quanto maior o teor de metacaulim na composição da argamassa, maior será sua densidade de massa aparente.

Com relação a profundidade carbonatada, a mesma está diretamente relacionada com a configuração de poros da argamassa: quanto maior a interligação entre poros, maior é a frente de carbonatação.

c. Quanto a Absorção de Água

Através do trabalho de Japiassú (2011), no qual foi analisada a absorção de água e a variação do coeficiente de capilaridade ao longo de 90 minutos (tabela 39 e figura 75), notou-se praticamente o mesmo comportamento nas amostras A e B, respectivamente sem e com 5% de metacaulim. Somente com a adição em torno de 10% de metacaulim, representada pela amostra C, foi verificada uma diminuição na absorção de água.

No trabalho de Valente (2008), as amostras foram ensaiadas quanto a absorção de água e coeficiente de capilaridade para 28 dias e 90 dias (figura 76 e tabela 40). Aos 28 dias, a amostra COR, sem metacaulim, apresentou um coeficiente de capilaridade superior quando comparado às demais amostras, contudo, todas as argamassas ensaiadas absorveram água por capilaridade de modo muito similar, conforme gráfico da figura 76. Aos 90 dias de ensaio, a argamassa sem metacaulim (COR), segundo Valente (2008) devido ao processo de carbonatação, reduziu a sua capacidade de absorção de água por capilaridade e seu coeficiente de capilaridade. As outras argamassas continuaram apresentando comportamento semelhante com relação à absorção de água.

Cabe aqui salientar, que diferente do trabalho de Japiassú (2011), onde cada amostra, com exceção da A, possui um teor diferente de metacaulim, no ensaio de Valente (2008) todas as amostras com metacaulim receberam adição de quantidades iguais desta pozolana, variando apenas na quantidade e tipo do agregado.

No ensaio de absorção de água por imersão (tabela 41), os valores obtidos após 24 horas atestam que o metacaulim não interfere na capacidade das argamassas em absorverem água por imersão.

8.6 CONCLUSÃO

No desenvolvimento das questões sobre as argamassas à base de cal para restauração, destaca-se as conclusões abaixo.

- a. O uso de pozolanas nas argamassas de cal aérea, surge devido à necessidade de dotar estas argamassas de capacidade de endurecimento em meios muito úmidos ou, no caso de argamassas de suporte de revestimentos azulejares, de difícil acesso de CO₂.
- b. A adição do metacaulim, material pozolânico artificial, na composição de argamassas à base de cal para restauração, tem sido considerado tanto em estudos realizados no Brasil quanto em Portugal.
- c. As argamassas para restauração precisam ser compatíveis com os elementos originais e que serão mantidos após a obra, sob pena de se promover uma degradação precoce dos materiais pré-existentes e do imóvel como um todo.
- d. As argamassas de assentamento, quando no estado plástico, devem apresentar boa trabalhabilidade a fim de facilitar a sua aplicação e nos casos de assentamento dos azulejos, favorecer a adesão através do preenchimento satisfatório da pasta da argamassa nas reentrâncias do tardo do azulejo. Contudo, e como se tratam de argamassas aéreas, é necessário ter o cuidado de não usar água em excesso.
- e. A retenção de água pode ser considerada como uma medida indireta da plasticidade da cal, pois as cals plásticas têm uma boa capacidade de retenção de água, principalmente quando em composição com agregados de origem fluvial.
- f. A retração ou contração é uma propriedade relacionada com a diminuição do volume de uma argamassa devido à evaporação da água de amassadura e ao processo de carbonatação e hidratação (no caso de cal hidráulica ou uso de pozolanas) da cal. A retração é uma propriedade que condiciona de forma decisiva a durabilidade de uma argamassa, pois a fissuração por retração permite o acesso de água podendo esta extrapolar os seus efeitos nocivos quando transporta substâncias agressivas que podem contribuir para a sua degradação.
- g. A presença do metacaulim nas argamassas está diretamente relacionada com a redução da retração linear, além de também propiciar a estabilização desta

retração em idades mais precoces (14 dias) do que nos casos de argamassas sem metacaulim (60 dias).

- h. É necessária uma maior quantidade de água de amassamento quando a argamassa possui metacaulim na sua composição. Quando a relação água/materiais secos é mantida fixa, não se verifica influência na presença do metacaulim na retenção de água.
- i. A introdução de metacaulim nas argamassas originou valores superiores de resistência à tração na flexão e principalmente de resistência à compressão. Este aumento verificou-se inclusive a longo prazo.
- j. O aumento do teor de metacaulim nas argamassas corresponde ao aumento do módulo de elasticidade nas argamassas. A médio prazo, valor do módulo de elasticidade decai progressivamente.
- k. Quanto maior o teor de metacaulim na composição da argamassa, maior será sua densidade de massa aparente.
- l. Quando a argamassa é aplicada sobre uma base, à medida que se dá a secagem, vai-se desenvolvendo a retração, que é restringida pela aderência ao suporte ou base. Este processo gera tensões na argamassa, sendo que são estas tensões que provocam fissuras e não as tensões de retração propriamente ditas. Portanto, a retração restringida é a propriedade que mais caracteriza o comportamento das argamassas de revestimento no que diz respeito à fissuração.
- m. A profundidade carbonatada está diretamente relacionada com a configuração de poros da argamassa: quanto maior a conectividade entre poros, maior é a frente de carbonatação.
- n. Os maiores valores da profundidade carbonatada são referentes à amostra sem a adição de metacaulim, possuindo assim uma percentagem maior de cal dentre todas as amostras ensaiadas.
- o. O aumento da quantidade de metacaulim nas argamassas, principalmente a partir de 10% diminui nitidamente a absorção de água e o coeficiente de capilaridade.

- p. Aos 28 dias, a amostra sem metacaulim apresentou um coeficiente de capilaridade maior quando comparado com as demais amostras, porém, todas as argamassas ensaiadas absorveram água por capilaridade de modo muito similar.
- q. Aos 90 dias de ensaio, a argamassa sem metacaulim reduziu a sua capacidade de absorção de água por capilaridade e seu coeficiente de capilaridade. As outras argamassas continuaram apresentando comportamento semelhante com relação à absorção de água.
- r. No ensaio de absorção de água por imersão, os valores obtidos após 24 horas atestam que o metacaulim não interfere na capacidade das argamassas em absorverem água por imersão.

9 ESTUDO DO MECANISMO DE ADERÊNCIA ORIGINAL AZULEJO/ARGAMASSA

Após a análise dos azulejos antigos das fachadas de casas da cidade de Ovar e das correspondentes argamassas de assentamento, neste capítulo será enfatizado o estudo da interface azulejo/argamassa.

De acordo com Botas et al. (2012), o mecanismo de aderência nas fachadas antigas acontece primordialmente na interface argamassa/azulejo. É nessa região onde “[...] ocorrem os fenômenos responsáveis pela aderência, ou seja, a penetração de água e matéria fina da argamassa no azulejo e a carbonatação do ligante que promove a ligação dos dois corpos (azulejo e argamassa).” (BOTAS et al., 2012).

Segundo o mesmo autor, a interface azulejo/argamassa também pode propiciar o descolamento dos azulejos, pois é nessa área onde se concentram a umidade e/ou os sais solúveis, responsáveis pelo surgimento de graves manifestações patológicas nas fachadas.

Sendo assim, é de suma importância a compreensão do mecanismo de aderência em uma fachada azulejada antiga, pois apenas deste modo é possível intervir de forma eficaz e consciente na recuperação e conservação de seus constituintes.

Conforme os capítulos anteriores, serão apresentados os ensaios efetuados na caracterização do mecanismo de aderência original, a partir de trabalhos realizados no Brasil e em Portugal.

9.1 ENSAIOS EXECUTADOS

Os ensaios aqui descritos e posteriormente analisados, fazem parte dos trabalhos de Japiassú (2011), Teixeira (2008) e Valente (2008). Na figura 77 encontra-se o diagrama dos ensaios que serão descritos neste capítulo, relacionados com a característica que representam.

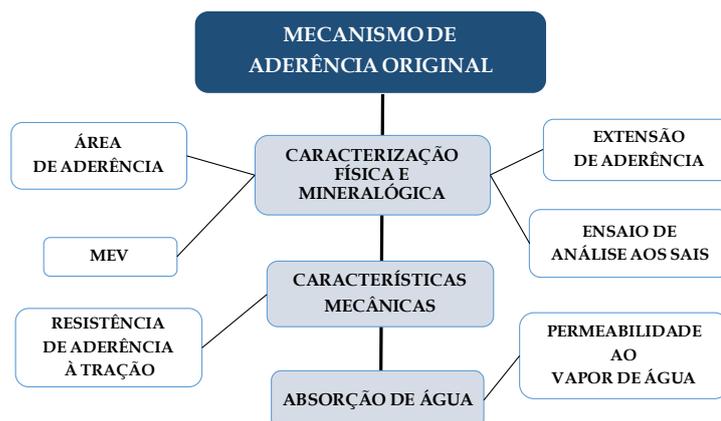


Figura 77 – organização dos ensaios realizados na interface azulejo/argamassa

(fonte elaborada pela autora)

As amostras analisadas correspondem aos azulejos com partes de argamassa ainda aderidas no seu tardo, conforme exemplifica a figura 77.



Figura 78 – argamassa aderida ao tardo de azulejo antigo

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 122)

9.1.1 Área de Aderência da Argamassa no Tardo do Azulejo

Procedimento realizado por ocasião do trabalho de Japiassú (2011), através de registro fotográfico e *softwares* de desenho gráfico que auxiliaram na determinação da referida área de aderência.

9.1.2 Avaliação da Extensão de Aderência na Lupa Estereoscópica

Através deste ensaio, é possível determinar a extensão de aderência entre a argamassa e o revestimento cerâmico, possibilitando um melhor entendimento a respeito da eficiência do mecanismo de adesão entre eles.

Segundo Japiassú (2011, p. 97), “a avaliação da extensão de aderência consiste na observação da interface das amostras coletadas, na lupa estereoscópica [...]”, ressaltando que as amostras aqui mencionadas, correspondem aos azulejos antigos contendo pedaços de argamassa aderidos em sua superfície não vidrada.

O ensaio foi realizado através dos seguintes passos:

- a. redução do tamanho das amostras a placas de seções transversais planas e lisas com 7,5 cm x 1,5 cm;
- b. marcação de riscos, a fim de se evitar erros durante o levantamento dimensional, de cores alternadas na região próxima à interface azulejo/argamassa, (figura 79), respeitando a distância de 3 mm entre eles;

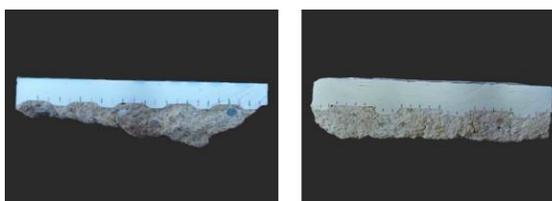


Figura 79 – preparação das amostras para o ensaio de extensão de aderência

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 99)

- c. as amostras devidamente marcadas são analisadas através da lupa estereoscópica;
- d. a cada extensão de 3 mm ao longo da interface azulejo/argamassa, foi feito um registro fotográfico, cujas imagens foram processadas no *software* da lupa estereoscópica, onde são efetuadas as medidas de toda a extensão do tardo possível de ser aderida pela argamassa e depois as medidas que não possuíam argamassa aderida;
- e. na sequência, o software soma os valores obtidos em cada imagem de cada amostra, sendo que neste caso, as três casas da cidade de Ovar, de onde foram retirados os azulejos com argamassa, geraram 18 faces a analisar, 6 faces para cada fachada, portanto;
- f. o cálculo da extensão de aderência foi obtido, segundo a fórmula (12):

$$A_a = ((L_t - L_v)/L_t) \cdot 100 \quad (12)$$

Onde,

A_a - argamassa aderida ao tardo (%);

L_t - comprimento total da amostra (mm);

L_v - comprimento dos locais sem aderência (mm).

9.1.3 Avaliação da Microestrutura no Microscópio Eletrônico de Varredura

Neste ensaio, também realizado no trabalho de Japiassú (2011), as amostras são analisadas através do microscópio eletrônico de varredura (MEV) com o objetivo de conhecer a morfologia dos produtos existentes na argamassa aderida.

O MEV é um dos mais versáteis instrumentos disponíveis para a observação e análise das características microestruturais de materiais sólidos. Este utiliza um feixe de elétrons no lugar dos fótons, comuns nos microscópios ópticos convencionais, possibilitando aumentos de 300.000 vezes ou mais contra o máximo de 2000 vezes dos convencionais. Na figura 80, conta um desenho esquemático para comparação entre o microscópio óptico e o MEV.

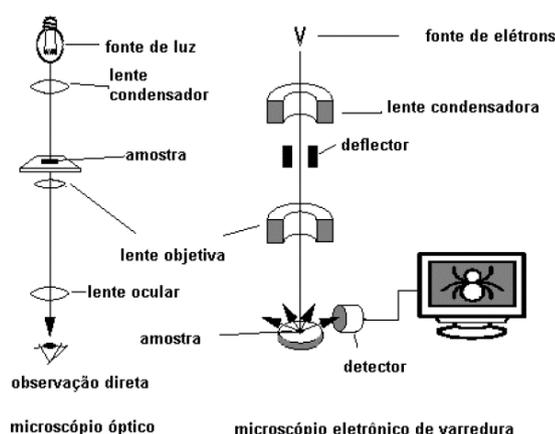


Figura 80 – comparação entre o microscópio óptico convencional e o MEV

(fonte: DEDAVID et al., 2007, p. 9¹⁰⁸)

¹⁰⁸ <http://www.pucrs.br/edipucrs/online/microscopia.pdf>

Através do MEV, é possível obter rapidamente informações sobre a morfologia e a identificação de elementos químicos de uma amostra sólida. Além disso, as amostras apresentam-se em alta resolução e com aparência tridimensional, permitindo também o exame em pequenos aumentos e com grande profundidade de foco. (DEDAVID et al., 2007¹⁰⁹)

Em sua tese, Japiassú (2011) descreve a sequência de ações necessárias para a realização do ensaio, a saber:

- a. as amostras foram cortadas, de maneira que suas dimensões chegassem a aproximadamente 2 cm x 2 cm x 1 cm;
- b. as amostras foram acomodadas em estufa a uma temperatura de $55^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por tempo superior a 48 horas;
- c. após a secagem, as amostras foram colocadas em dessecador com sílica gel e cal sodada que, segundo Japiassú (2011), absorvem toda a umidade existente;
- d. secas e isentas de umidade, as amostras são então coladas com fita dupla-face, no porta amostra do MEV, que antes passou por várias etapas de limpeza para recebê-las.

As imagens utilizadas para avaliação da morfologia do material foram obtidas através de sinais de elétrons. Além da obtenção de imagens de microestrutura da argamassa, também foi possível a realização de microanálises químicas através de detector de DRX incorporado no microscópio. (JAPIASSÚ, 2011)

9.1.4 Ensaio de Análise aos Sais

Segundo Valente (2008), foi necessário a análise de sais nas argamassas antigas aderidas, devido à grande variabilidade de resultados obtidos no ensaio de permeabilidade a vapor de água.

O procedimento de execução é, conforme a autora, muito simples e direto, pois basta aproximar a tira de sulfatos, cloretos ou nitratos/nitritos na argamassa ensaiada e depois umedecê-la com

¹⁰⁹ <http://www.pucrs.br/edipucrs/online/microscopia.pdf>

bastante água. Depois, é feita a comparação da cor que surgiu na tira com uma das cores ilustradas na embalagem, conforme a figura 81.



Figura 81 – ensaio de análise aos sais da argamassa aderida

(fonte: VALENTE, 2008, p. 46)

9.1.5 Determinação da Resistência de Aderência à Tração

O ensaio para determinação da resistência de aderência à tração nas amostras constituídas por azulejos e argamassas antigas, também foi realizado durante a tese de mestrado de Japiassú (2011). A autora utilizou como referência a NBR 14084:2005¹¹⁰ com algumas modificações, uma vez que esta norma é específica para o ensaio em argamassas colantes para assentamento de placas cerâmicas.

O procedimento empregado por Japiassú (2011), foi o descrito a seguir:

- a. cortou-se as amostras de maneira que suas dimensões chegassem a 5,0 cm x 1,5 cm;
- b. limpou-se o substrato padrão, a superfície esmaltada do azulejo da amostra e as pastilhas metálicas quadradas cujos lados mediam 5 cm cada, garantindo-se assim a inexistência de partículas soltas durante o ensaio;
- c. com todas as superfícies limpas, as amostras de azulejo foram coladas ao substrato-padrão e esperou-se a completa secagem da cola;
- d. aplicou-se uma camada de cola na superfície da pastilha que em seguida foi pressionada sobre o vidrado do azulejo, de maneira a ocupar o centro da amostra,

¹¹⁰ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14084**: argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005.

Importância do uso de argamassas de cal na restauração de fachadas compostas por azulejos fabricados no final do século XIX e início do século XX.

finalizando o preparo do corpo de prova, de acordo com a representação ilustrada na figura 82;



Figura 82 – representação da configuração do corpo de prova para o ensaio da resistência de aderência à tração

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 101)

- e. completada a secagem da cola, o equipamento foi montado de forma que seu eixo se mantivesse regulado de maneira ortogonal ao plano do corpo de prova;
- f. garantindo-se, através do uso de um nível de bolha a ortogonalidade do sistema, iniciou-se o ensaio, que consistiu na aplicação de uma força de tração até à ruptura do corpo de prova;
- g. as cargas e a percentagem de ruptura são então anotadas e através da fórmula (13) é obtida a tensão de resistência de aderência.

$$T = F/A \quad (13)$$

Onde,

T – tensão (MPa);

F - força de ruptura (N);

A - área da secção de aplicação da força (m²).

Japiassú (2011) informa que, de acordo com o proposto por Carasek¹¹¹ (1996), na análise deste ensaio devem ser considerados os valores da resistência potencial, que correspondem aos maiores valores obtidos para a resistência. A justificativa para essa atitude reside no fato de que não haverá, durante o procedimento descrito para a realização do ensaio, nenhuma ação que possibilite o aumento dos valores obtidos para a resistência. Japiassú (2011) citando Carasek¹¹² (1996) complementa a informação observando que devido à fragilidade da argamassa e a eventuais erros que possam ocorrer durante o ensaio, as chances são de obtenção de valores até mesmo reduzidos.

9.1.6 Ensaio de Absorção de Água sob Baixa Pressão

Ensaio realizado para o trabalho de Valente (2008), cuja finalidade é a verificação da permeabilidade ao vapor de água dos revestimentos cerâmicos de fachada. Em Portugal, é realizado através da Fe Pa 39¹¹³.

Nesse ensaio, é necessário um equipamento chamado Tubo de Karsten (figura 83), que como explica Valente (2008, p. 45) é uma “[...] peça em forma de cachimbo, que consiste num tubo graduado de 0 a 4 cm³ com uma parte inferior em formato cilíndrico cujo fundo é fechado.”. Cabe aqui destacar, que o ensaio de absorção de água sob baixa pressão é executado na vertical.



Figura 83 – imagem do Tubo de Karsten

(fonte: site da AMAZON¹¹⁴)

¹¹¹ CARASEK, H. **Aderência de Argamassas à Base de Cimento Portland à Substratos Porosos: Avaliação dos Fatores Intervenientes e Contribuição ao Estudo do Mecanismo de Ligação**. 1996. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

¹¹² CARASEK, H. **Aderência de Argamassas à Base de Cimento Portland à Substratos Porosos: Avaliação dos Fatores Intervenientes e Contribuição ao Estudo do Mecanismo de Ligação**. 1996. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

¹¹³ LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. **Fe Pa 39: revestimentos de paredes – ensaio de absorção de água sob baixa pressão**. Lisboa, 2002.

¹¹⁴ <https://www.amazon.es/Calibre-Stormdry-Karsten-tubo-Rilem/dp/B008KMCTEK>

De acordo com a autora, procedeu-se do seguinte modo:

- a. a secção do tubo de Karsten é apoiada no azulejo, envolvendo a borda do tubo com silicone ou algum material similar, desde que fique bem vedado a fim de não deixar sair água;
- b. coloca-se água no tubo até a graduação máxima;
- c. passados 5 minutos, inicia-se a primeira leitura em cada um dos tubos, a partir da diminuição do nível de água observado;
- d. repete-se o procedimento de leitura após 10, 15, 30 e 60 minutos.

Na figura 84, é possível verificar o esquema de aplicação do tubo de Karsten e seu uso durante o ensaio em uma fachada azulejada.

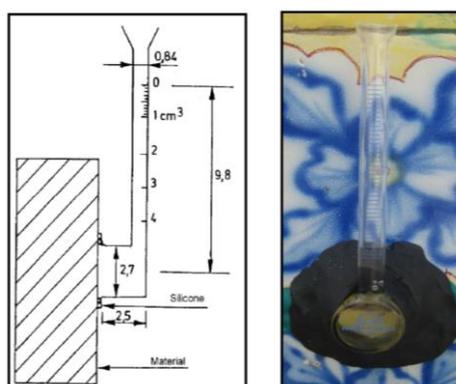


Figura 84 – esquema de utilização do tubo de Karsten e seu uso durante o ensaio

(fonte: RODRIGUES¹¹⁵, 2010, p. 50)

9.2 ANÁLISE DOS DADOS

9.2.1 Quanto à Caracterização Física e Mineralógica

- a. Área de Aderência da Argamassa no Tardo do Azulejo

Das amostras analisadas por Japiassú (2011) correspondentes às fachadas de três casas antigas de Ovar (caso 1, caso 2 e caso 3), nos dois primeiros casos verificou-se respectivamente 63% e

¹¹⁵ RODRIGUES, T. M. **Influência de Juntas no Comportamento de Fachadas Azulejadas**. 2010. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2010. Disponível em: <<http://ria.ua.pt/handle/10773/4053>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

68% de área de argamassa aderida ao tardo do azulejo. No caso 3, que segundo a autora corresponde a praticamente todo o tardo do azulejo recoberto com argamassa, obteve-se 99% de área aderida com a argamassa. Na tabela 42 estão os dados descritos acima.

Tabela 42 – resultados médios da área de argamassa aderida no tardo dos azulejos antigos

PESQUISA	Caso	Média da área de argamassa aderida no tardo (%)
JAPIASSÚ, 2011	1	63
	2	68
	3	99

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 122)

Também foi possível compreender com esse ensaio, de acordo com a figura 85, como se configura o mecanismo de aderência entre os azulejos antigos e as argamassas de assentamento.

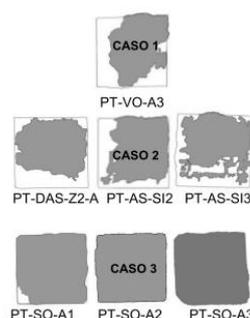


Figura 85 – visualização da área de argamassa original aderida ao tardo do azulejo

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 123)

Como é possível verificar na figura 80, em todas as amostras ensaiadas constata-se o predomínio da argamassa no centro dos azulejos em detrimento das bordas, com exceção do caso 3. Segundo Japiassú (2011), a justificativa para este fato decorre do provável uso da técnica de assentamento conhecida como “técnica do bolão” na qual se aplica a argamassa no centro do tardo do azulejo e em seguida pressiona-se a placa na parede que será revestida. Desta forma, a quantidade de argamassa utilizada se distribui irregularmente por sobre o tardo.

b. Avaliação da Extensão de Aderência na Lupa Estereoscópica

A extensão de aderência corresponde à razão entre a área de contato efetivo entre o azulejo e a argamassa (no caso específico deste estudo) e a área total possível de ser aderida. No ensaio

executado por Japiassú (2011), com as amostras utilizadas no ensaio para verificação da área de aderência descrito anteriormente, foram encontrados os valores dispostos na tabela 43.

Tabela 43 – resultados médios da extensão de aderência das amostras de azulejos antigos com argamassas de assentamento ainda aderidas

JAPIASSÚ, 2011			
Caso	Média da extensão de aderência (%)	Desvio padrão (%)	Coefficiente de variação (%)
1	82	10	12
2	64	16	26
3	83	4	5

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 123)

Conforme é possível constatar a partir da tabela 43, o caso 2 possui a menor percentagem em relação à extensão de aderência.

Japiassú (2011) comprova esse dado com as informações da maior incidência de falhas de aderência na interface azulejo/argamassa verificadas nas amostras do caso 2 a partir do ensaio com a lupa estereoscópica. A partir da análise da figura 86, confirma-se essa observação da autora.



Caso 1

Caso 2

Caso 3

Figura 86 – comparação entre as interfaces azulejo/argamassa nos casos analisados

(fonte adaptada de JAPIASSÚ, 2011, p. 124/125)

Também mediante o uso da lupa estereoscópica, foi possível compreender o quanto as características físicas das placas cerâmicas empregues, como a presença ou não de ranhuras (muraturas) no tardo dos azulejos e a esfericidade e as dimensões dos grãos do agregado das argamassas, influenciam no mecanismo de aderência.

De acordo com Japiassú (2011), apesar da finalidade das muraturas em propiciar uma maior aderência entre o azulejo e a argamassa, este fato não foi verificado com as amostras analisadas: as regiões de baixo relevo no tardo do azulejo possuíam mais falhas de aderência que nas regiões planas. A autora deduz, portanto que ocorreu dificuldade da argamassa durante o assentamento em penetrar nessas regiões de reentrâncias.

Complementando as informações descritas acima, Japiassú (2011) constata que a partir da análise petrográfica executada anteriormente nas argamassas antigas, verificou-se que o agregado utilizado na argamassa do caso 2, possui grãos de dimensões maiores (entre 0,2 a 5,5 mm) que nos demais casos (entre 0,03 a 2,5 mm). Além disso, também foi observado que a esfericidade dos grãos é de baixa a moderada, comparada com a dos casos 1 e 3, cuja esfericidade é de moderada a alta. A esfericidade do grão é obtida através do ensaio de índice de forma, de acordo com a NBR 7809:2008¹¹⁶.

Uma vez que os grãos maiores podem funcionar como uma barreira ao contato da argamassa com o tardo do azulejo, dificultando a eficiente aderência entre eles, e que argamassas compostas por agregados mais arredondados são mais trabalháveis, favorecendo o contato da pasta ao tardo das placas cerâmicas, é possível compreender a deficiência observada no mecanismo de aderência das amostras do caso 2.

c. Avaliação da Microestrutura no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

De maneira geral, o resultado da avaliação da microestrutura das argamassas aderidas, efetuado por Japiassú (2011), resultou nas informações descritas em seguida para cada caso das amostras ensaiadas.

Nas amostras do caso 1, verificou-se predomínio de compostos constituídos com alto teor de cálcio, por quantidades menores de silício e alumínio e resquícios de sódio, magnésio e ferro, além dos cristais verificados por DRX na ocasião do ensaio nas amostras do caso 1 compostas apenas por argamassas (*vide* tabela 11).

No caso 2, verificou-se grande quantidade de silício, e cálcio, alumínio e ferro em menores proporções, além dos minerais presentes na tabela 11, ensaiados anteriormente por DRX.

¹¹⁶ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7809**: agregado graúdo: determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - método de ensaio. Rio de Janeiro, 2008.

Segundo Japiassú (2011), os compostos detectados por MEV nas amostras do caso 2, provavelmente são silicoaluminatos de cálcio hidratados, provenientes de possíveis reações pozolânicas.

No caso 3, o ensaio resultou em informações sobre a presença de cálcio e ferro e em quantidades menores de silício e alumínio em uma região e de ferro e alumínio com quantidades menores de silício e cálcio em outra região. Segundo Japiassú (2011, p. 133), “a presença de altos teores de ferro confirma a observação na análise petrográfica de muitos grãos de agregados com borda de reação entre material argiloso e hidróxido de ferro na argamassa do caso 3.”.

d. Ensaio de Análise aos Sais

Este ensaio foi efetuado no trabalho de Valente (2008), que salienta o fato da análise ter sido executada meses após a retirada das amostras das suas fachadas de origem. Os resultados obtidos pela autora encontram-se na tabela 44 abaixo.

Tabela 44 – dados resultantes do ensaio de análise aos sais em amostras de argamassas aderidas

PESQUISA	FACHADAS	AMOSTRAS	Cloretos (mg/l)	Sulfatos (mg/l)	Nitratos (mg/l)
VALENTE, 2008	CCB				
		Nº 01	0 - 500	< 200	25
	DAS				
		Nº 01	500	< 200	10
	MO				
		Nº 01	500	< 200	50
		Nº 02	0 - 500	< 200	0
	JF				
	Nº 01	0 - 500	200 - 400	10	
	Nº 02	0 - 500	< 200	10	

(fonte elaborada pela autora)

De acordo com a tabela 44 e dos dados do trabalho de Valente (2008), as amostras referentes às fachadas da casa do Museu de Ovar (MO_Nº 01) e da casa localizada na rua Dr. Antônio Sobreira (DAS_Nº 01) são as que possuem maior quantidade de cloretos. Já a amostra com maior quantidade de sulfatos corresponde à fachada da casa situada na rua Dr. José Falcão (JF_Nº 01), que segundo Valente (2008) se justifica pelo fato da edificação situar-se próxima a uma área com intenso tráfego de automóveis.

9.2.2 Quanto às Características Mecânicas

a. Resistência de Aderência à Tração

De acordo com Dias et al. (2011) citando Carasek (1996), a aderência é um mecanismo puramente mecânico, que pode ser comprovado tanto por sua resistência quanto por sua extensão de contato. Porém, de todos os fatores mecânicos, químicos e físicos necessários à manutenção da fachada e de seus componentes, a resistência de aderência à tração é o mais importante, pois “[...] por ser atuante contra a ação da gravidade em todo o tempo, sem a aderência seria impossível que as placas se mantivessem nas posições em que foram assentadas.” (CARASEK, 1996 apud DIAS et al., 2011).

No estudo para verificação da resistência de aderência à tração, Japiassú (2011) informa que, devido ao pequeno número de amostras representativas do caso 1, consideraram nesse ensaio apenas os casos 2 e 3, de acordo com o verificado na tabela 45.

Tabela 45 – resultados potenciais médios de resistência de aderência à tração

PEQUISA	Caso	Resistência à aderência média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação	Forma de ruptura (%)	
					Argamassa	Interface argamassa/tardo
JAPIASSÚ, 2011	2	0,13	0,06	47	65	35
	3	0,34	0,16	46	100	0

(fonte: JAPIASSÚ, 2011, p. 126)

De acordo com a tabela, nota-se o alto valor da resistência de aderência à tração do caso 3 (0,34 MPa) quando comparado ao do caso 2 (0,13 MPa). A autora informa que este baixo valor do caso 2 pode ter sido devido à manipulação e corte das suas amostras antes do ensaio, causando possíveis danos no material e consequente diminuição da sua resistência.

Nota-se também, que as amostras do caso 3 apresentaram ruptura apenas na argamassa de assentamento, enquanto as do caso 2 romperam tanto na argamassa quanto na interface argamassa/tardo. Os 35% de ruptura verificados nas amostras do caso 2, atestam sua baixa aderência à argamassa, situação evidenciada antes no ensaio com a lupa estereoscópica.

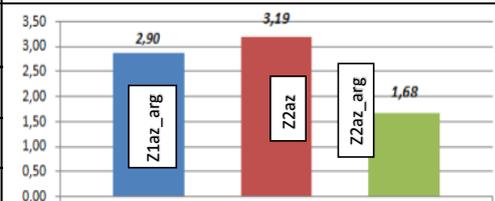
9.2.3 Quanto à Absorção de Água

a. Permeabilidade ao Vapor de Água

Este ensaio foi realizado por Valente (2008) em todas as amostras representativas das fachadas estudadas, ou seja, nos azulejos, argamassas e azulejos com argamassa aderida. A intenção da autora é verificar não apenas a permeabilidade das amostras isoladas, mas também investigar qual é a amostra mais permeável em uma fachada azulejada.

Os resultados obtidos foram então agrupados de acordo com o imóvel que eles representam, como pode ser verificado a seguir.

Tabela 46 – espessura da camada de ar de difusão equivalente das amostras JF

VALENTE, 2008		
FACHADA	AMOSTRAS	Espessura da Camada de Ar de Difusão Equivalente
		SD (m)
	Rua Dr. José Falcão (JF)	
	Z1az_arg - Azulejo + Argamassa	
	Z2az_arg - Azulejo + Argamassa	
	Z2az - Azulejo	

(fonte adaptada de VALENTE, 2008, p. 55)

De acordo com a tabela 46, verifica-se que a amostra mais impermeável é a Z2az ($S_D = 3,19$ m) que corresponde a um azulejo, situado na Z2, zona entre as vergas da porta e da janela, conforme a figura 87.

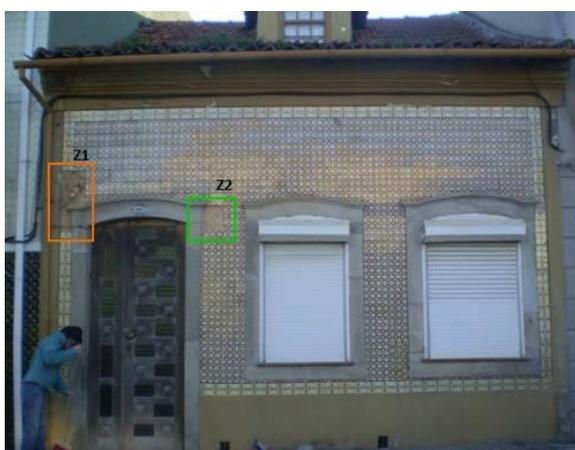
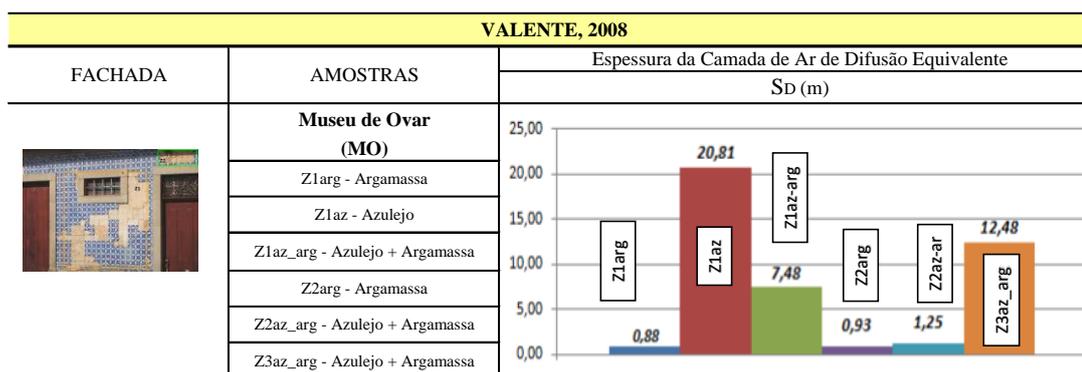


Figura 87 – localização das zonas de retirada das amostras na fachada JF

(fonte: VALENTE, 2008, p. 55)

As amostras Z1az_arg e Z2az_arg, constituídas por azulejo e argamassa aderida, foram retiradas de áreas diferentes da fachada, de acordo com a figura 86, ambas próximas à verga da porta, mas em lados opostos. Provavelmente as diferentes localizações de retirada das amostras, justifiquem a variação encontrada nas suas espessuras da camada de ar de difusão, uma vez que a Z2az_arg ($S_D = 1,68$ m) é mais permeável que a Z1az_arg ($S_D = 2,90$ m).

Tabela 47 – espessura da camada de ar de difusão equivalente das amostras MO



(fonte adaptada de VALENTE, 2008, p. 64)

Conforme já verificado no item 7.3, com relação à análise dos dados do ensaio de permeância para as amostras de argamassa, na tabela 47 verifica-se que os valores de suas espessuras da camada de ar de difusão são muito próximos entre si (Z1arg com $S_D = 0,88$ m e Z2arg com $S_D = 0,93$ m), mesmo as amostras tendo sido retiradas em zonas diferentes, conforme se verifica na figura 88 (Z1, entre as vergas da janela e da porta e Z2, acima da verga da porta). Também quanto às amostras de argamassas, nota-se na tabela 47, que são as amostras mais permeáveis retiradas da fachada, contrapondo com a amostra de azulejo, Z1az, que é a mais impermeável, conforme o esperado para estes materiais.



Figura 88 – localização das zonas de retirada das amostras na fachada MO

(fonte: VALENTE, 2008, p. 63)

Com relação às amostras de azulejo com argamassa aderida, Z1az_arg, Z2az_arg e Z3az_arg; através da tabela 47 verifica-se nitidamente a diferença entre as suas espessuras da camada de ar equivalente e conseqüentemente de suas permeabilidades ao vapor de água.

Uma vez que, como já mencionado, as argamassas não costumam variar na sua permeabilidade com relação à zona da fachada onde foram aplicadas, deduz-se que essa inconstância de valores para as amostras de azulejo com argamassa aderida deve-se ao azulejo e ao estado de conservação da fachada na zona (Z1, Z2 ou Z3) onde ele foi retirado.

9.3 CONCLUSÕES PARCIAIS

Assim como nos capítulos referentes ao estudo dos azulejos e das argamassas antigas, também neste realizar-se-á uma breve análise dos ensaios e dados resultantes acerca do mecanismo de aderência original de uma fachada antiga.

9.3.1 Quanto à Caracterização Física e Mineralógica

De acordo com o ensaio executado por Japiassú (2011), a área de aderência das amostras analisadas foi em torno de 65%, com exceção de uma das amostras, com 99%, conforme a tabela 42.

Também foi possível verificar através desse ensaio, que muito provavelmente a maneira como os azulejos eram assentes se dava através da “ técnica do bolão”, em que uma porção de argamassa é colocada no centro da placa cerâmica e em seguida pressionada contra a superfície a ser azulejada. Dessa maneira, como é mostrado na figura 85, a argamassa se concentra no centro do tardez, tornando-se escassa nas extremidades do mesmo.

Quanto à extensão de aderência, que corresponde à razão entre a área de contato efetivo entre o azulejo e a argamassa e a área total possível de ser aderida, os valores obtidos estão dispostos na tabela 43.

Observando as duas tabelas, 42 e 43, podemos notar que a amostra do caso 2, apesar de possuir percentagem similar à da amostra do caso 1 com relação à área de aderência, na extensão de aderência possui menor valor em relação às demais amostras. No ensaio com a lupa estereoscópica é possível entender o porquê, uma vez que, como se constata ao observar a figura 86, a amostra do caso 2 possui muitas falhas de aderência na interface azulejo/argamassa.

As falhas no mecanismo de aderência na amostra do caso 2 se justificam, conforme Japiassú (2011), devido à maior dimensão e falta de esfericidade dos grãos do agregado da argamassa da amostra do caso 2, aliado às reentrâncias do tardo do azulejo dessa amostra. Como deduz a autora, ocorreu uma dificuldade de penetração da argamassa durante o assentamento na muratura do tardo, dificultando assim o travamento mecânico necessário à eficiente aderência entre esses materiais (o azulejo e a argamassa).

De acordo com o exposto, e a partir das observações de Japiassú (2011), é possível concluir que a extensão de aderência está mais relacionada com as características dimensionais e geométricas dos grãos do agregado utilizado e à configuração do tardo dos azulejos do que à relação aglomerante/agregado das argamassas.

9.3.2 Quanto às Características Mecânicas

A partir da tabela 45, foi possível comprovar os dados do ensaio da lupa estereoscópica com a amostra representativa do caso 2, pois ocorreu 35% de ruptura na área de aderência entre o azulejo e a argamassa, evidenciando falhas no mecanismo de aderência dessa amostra.

Quanto à grande margem de diferença entre os dados da amostra do caso 2 (0,13 MPa) e a amostra do caso 3 (0,34 MPa), a autora explica que a manipulação da amostra do caso 2, inclusive com necessidade de corte para ensaios anteriores, pode ter degradado a peça a ponto de reduzir sua resistência à tração.

9.3.3 Quanto à Absorção de Água

Analisando os dados obtidos desse ensaio, constata-se que as amostras contendo a argamassa de assentamento mantiveram valores quase similares para a espessura da camada de ar de difusão equivalente, independente da região da fachada de onde foi retirada. Além disso, essas amostras, como era esperado, são as mais permeáveis entre os três tipos de amostras retiradas das fachadas azulejadas estudadas.

As amostras de azulejos e de azulejos com argamassa aderida, variaram bastante com relação à permeabilidade ao vapor de água para uma mesma fachada, sendo que ambos os tipos se mostraram bem menos permeáveis que as amostras contendo apenas argamassa.

Como justificativa para a diversidade de valores para as amostras contendo azulejos no ensaio de permeabilidade ao vapor de água, a autora atribui a ocorrência de diferentes estados de degradação das zonas da fachada de onde as amostras foram retiradas.

9.4 CONCLUSÃO

Sobre o mecanismo de aderência entre o azulejo e a argamassa antiga é possível salientar algumas informações, descritas na sequência.

- a. Extensão de aderência corresponde a razão entre a área de contato efetivo entre o azulejo e a argamassa e a área total possível de ser aderida.
- b. A extensão de aderência nas fachadas azulejadas antigas está mais relacionada com as características dimensionais e geométricas dos grãos do agregado utilizado e à configuração do tardez dos azulejos do que à relação aglomerante/agregado das argamassas.
- c. Os valores de permeabilidade ao vapor de água das amostras de argamassa de assentamento, se mantiveram aproximadamente constantes, independente da região da fachada de onde tenham sido retiradas as amostras.
- d. O ensaio de permeabilidade ao vapor de água demonstrou que, em uma fachada azulejada antiga, o componente mais permeável é a argamassa de assentamento.
- e. As amostras de azulejo e de azulejo com argamassa aderida resultaram em valores muito variados em relação à permeabilidade ao vapor de água, para uma mesma fachada por causa do estado de conservação da região da fachada de onde as amostras foram retiradas.

10 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS COM CIMENTO PORTLAND

PORTLAND

Neste capítulo, as argamassas de assentamento compostas por cimento Portland, serão analisadas quanto aos seus valores de módulo de elasticidade, resistência à tensão na flexão e à compressão e absorção de água por capilaridade, como ilustra a figura 89.

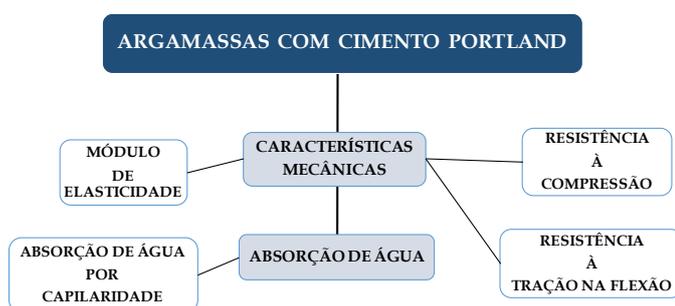


Figura 89 – características analisadas das argamassas com cimento Portland

(fonte elaborada pela autora)

O objetivo é averiguar quanto à possibilidade do uso de cimento Portland na composição de argamassas para assentamento de azulejos antigos e/ou réplicas em fachadas igualmente antigas.

As características acima citadas são primordiais na escolha de uma composição eficiente de argamassas de assentamento em obras de restauração, principalmente em se tratando de fachadas azulejadas. Os autores Lucas¹¹⁷ (1990) e Paiva e Veiga¹¹⁸ (1996) citados por Simões (2011, p. 32), salientam a importância da compatibilização das propriedades físicas do revestimento e do suporte, “[...] nomeadamente o módulo de elasticidade e resistência à tração, para que não ocorra degradação de um dos elementos constituintes ou até mesmo do conjunto, provocada por tensões internas devido à incompatibilidade de retração dos materiais envolvidos.”.

¹¹⁷ LUCAS, J. A. C. **Exigências Funcionais de Revestimentos de Paredes**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Lisboa, Portugal. 1990.

¹¹⁸ PAIVA, J. V.; VEIGA, M. R. **Curso de Especialização sobre Revestimentos de Paredes**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Lisboa, Portugal. 1996.

Além da rigidez e da resistência mecânica, a análise da absorção de água dessas argamassas é fundamental na restauração de fachadas azulejadas antigas. De acordo com Veiga (2003), a alvenaria antiga era constituída por materiais porosos que “[...] admitia a entrada de água para o interior da alvenaria, mas evitava uma permanência prolongada, procurando promover a sua fácil e rápida saída para o exterior.”.

Sendo assim, é fundamental o conhecimento da capacidade de absorção de água dos materiais empregados na restauração de um imóvel antigo, constituído por um peculiar e eficiente sistema de controle da umidade.

10.1 ARGAMASSAS ENSAIADAS

As argamassas compostas por cimento Portland, cujas propriedades serão analisadas, foram ensaiadas para os trabalhos de Uchôa (2015) e Melo et al. (2007) no Brasil e Gaudêncio (2014) em Portugal.

a. Uchôa (2015)

Uchôa (2015) em sua tese de doutorado: *Análise Numérica e Experimental da Fadiga Termomecânica em Argamassas Colantes no Sistema de Revestimento Cerâmico*, ensaiou nove corpos de prova para cada um dos tipos de argamassa colante utilizados em revestimentos cerâmicos no Brasil, conforme a NBR 14081:2004, ou seja: AC II e AC III (figura 90).



Figura 90 – argamassas colantes utilizadas no ensaio de Uchôa

(fonte: UCHÔA, 2015, p. 58)

A argamassa colante é definida pela NBR 14081:2004 como um produto industrial, no estado seco, composto de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos que quando misturado com água, forma uma massa viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento.

A NBR 14081 determina que para o assentamento de placas cerâmicas em fachadas externas, sejam utilizadas as argamassas colantes tipo AC II ou AC III, sendo que AC designa a argamassa como colante e os números II e III (I, II e III) variam de acordo com a resistência de aderência à tração e do tempo em aberto¹¹⁹ de cada argamassa.

O tipo AC II possui características de adesividade que permitem absorver os esforços existentes em revestimentos de paredes externas decorrentes de ciclos de flutuação térmica e higrométrica e da ação de chuva e/ou vento. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 14081:2004)

O tipo AC III possui propriedades capazes de resistir a altas tensões de cisalhamento nas interfaces substrato/adeseivo e placa cerâmica/adeseivo, possuindo uma aderência superior entre as interfaces se comparada aos tipos AC I e AC II. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 14081:2004).

No quadro 1 constam os requisitos e critérios para as argamassas colantes, segundo a NBR 14081:2004.

Quadro 1 – requisitos e critérios, estabelecidos pela NBR 14081:2004, para as argamassas colantes industrializadas

Propriedade	Método de ensaio	Unidade	Argamassa colante Industrializada			
			ACI	ACII	ACIII	E
Tempo em aberto	ABNT NBR 14083	min	≥ 15	≥ 20	≥ 20	Argamassa do tipo I, II ou III, com tempo em aberto estendido em no mínimo 10 min do especificado nesta tabela.
Resistência de aderência à tração aos 28 dias em	ABNT NBR 14084	MPa	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0	
- cura normal		MPa	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0	
- cura submersa		MPa	-	≥ 0,5	≥ 1,0	
- cura em estufa						
Deslizamento ¹⁾	ABNT NBR 14085	mm	≤ 0,7	≤ 0,7	≤ 0,7	

¹⁾ O ensaio de deslizamento não é necessário para argamassa utilizada em aplicações com revestimento horizontal.

(fonte: MATSUSATO, 2007, p. 39)

No trabalho de Uchôa (2015), determinou-se os valores para o módulo de elasticidade, resistência à tração na flexão e resistência à compressão. Não foram realizados os ensaios de porosidade nem de absorção de água.

¹¹⁹ Tempo em aberto é “o tempo disponível para colocar uma cerâmica entre o momento em que a argamassa se estende sobre a base e o momento em que perde a capacidade de colar adequadamente [...]”, tornando, portanto, a aderência deficiente. (<http://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-tempo-em-aberto.html>).

Segundo o autor, os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão, seguiram as diretrizes da NBR 13279:2005¹²⁰ aplicada às argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos, devido a inexistência de uma norma brasileira que contemple os ensaios de resistência para as argamassas colantes.

O ensaio para obtenção do módulo de elasticidade dinâmico através da frequência de ressonância foi regido pela CSTB 3265¹²¹

b. Melo et al. (2007)

O trabalho realizado por Melo et al. (2007) teve como objetivo testar três amostras mistas de cimento Portland e cal hidratada para uso em obras de restauração. As amostras possuíam teores diferentes de cal hidratada, segundo a tabela 48.

Tabela 48 – traço em volume e em massa das três amostras analisadas

MELO et al., 2007		
Argamassa	Traço em volume	Traço em massa
A	1:0,5:6	1:0,28:8,15
B	1:1:6	1:0,56:8,15
C	1:2:6	1:1,12:8,15

(fonte adaptada de MELO et al., 2007)

Segundo a NBR 7175:2003, a cal hidratada é um pó obtido pela hidratação da cal virgem, constituído essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio.

De acordo com as exigências físicas e químicas, a NBR 7175:2003 classifica a cal hidratada em CH-I, CH-II e CH-III, conforme as tabelas 49 e 50.

¹²⁰ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

¹²¹ CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT. **CTBR 3265**: *revêtements de murs en carreaux céramiques ou analogues collés au moyen de mortiers-collés ou d'adhésifs*. França, 1999/2000.

Tabela 49 – exigências químicas da NBR 7175:2003 para as cais hidratadas

Exigências Químicas				
Compostos		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Anidrido carbônico (CO ₂)	Na fábrica	≤ 5%	≤ 5%	≤ 13%
	No depósito	≤ 7%	≤ 7%	≤ 15%
Óxido não-hidratado calculado		≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Óxidos totais na base de não-voláteis (CaO + MgO)		≥ 90%	≥ 88%	≥ 88%

(fonte: *site* CERRO BRANCO¹²²)

Tabela 50 – exigências físicas da NBR 7175:2003 para as cais hidratadas

Exigências Físicas				
Determinações		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Finura (% retida acumulada)	Peneira 0,600 mm (Nº 30)	≤ 0,5%	≤ 0,5%	≤ 0,5%
	Peneira 0,075 mm (Nº 200)	≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Estabilidade		Ausência de cavidades ou pretuberâncias		
Retenção de água		≥ 75%	≥ 75%	≥ 70%
Plasticidade		≥ 110	≥ 110	≥ 110
Incorporação de areia		≥ 3,0	≥ 2,5	≥ 2,2

(fonte: *site* CERRO BRANCO¹²³)

O cimento utilizado nas amostras, de acordo com Melo et al. (2007) foi do tipo CP II Z, que consiste em um cimento Portland composto com adição de pozolanas (tabela 51), que neste cimento são as cinzas volantes.

Tabela 51 – cimentos normalizados no Brasil

Cimento	Classes de resistência (MPa)	Clinker + Sulfatos (%)	Escoria (%)	Pozolana (%)	Materiais Carbonáticos (%)
CPI (NBR 5732/91)	25-32-40	100			0
CPI-S (NBR 5732/91)	25-32-40	99-95			1-5
CPII-E (NBR 11578/91)	23-32-40	94-56	6-34		0-10
CPII-Z (NBR 11578/91)	25-32-40	94-76		6-14	0-10
CPII-F (NBR 11578/91)	25-32-40	94-90			6-10
CPIII (NBR 5735/91)	25-32-40	65-25	35-70		0-5
CPIV (NBR 5238/91)	25-32	85-45		15-50	0-5
CPV-ARI (NBR 5733/91)	---	100-95			0-5

(fonte: *site* COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO¹²⁴)¹²² <http://www.cerrobranco.com.br/normas/>¹²³ <http://www.cerrobranco.com.br/normas/>¹²⁴ <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/123/anexo/revesar.pdf>

A cal hidratada utilizada foi a do tipo CH – II e a areia do tipo quartzosa¹²⁵, cujo gráfico da distribuição granulométrica esta apresentado na figura 91.

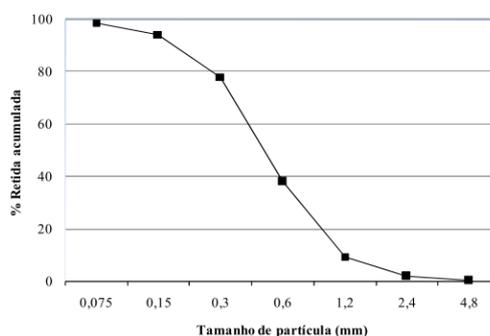


Figura 91 – curva da distribuição granulométrica da areia utilizada

(fonte: MELO et al., 2007)

Os ensaios foram realizados nos corpos de prova com idade de 28 dias e visaram a obtenção de valores quanto as resistências à tração na flexão e à compressão e a absorção de água por capilaridade.

c. Gaudêncio (2014)

Também neste capítulo, utilizar-se-á os estudos realizados por Gaudêncio (2014), nos quais foram ensaiados tipos diferentes de argamassas compostas por cimento Portland, visando a determinação de uma composição que se enquadre como colante para fixação de revestimentos cerâmicos, segundo a EN 12004¹²⁶, e que ao mesmo tempo fosse propícia ao assentamento de azulejos antigos.

O ensaio de resistência à flexão, segundo a autora, seguiu o que rege a norma EN 1015-11¹²⁷; a determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade e da permeabilidade ao vapor de água foram guiados, respectivamente, pelas normas EN 1015-18¹²⁸ e EN 1015-19¹²⁹.

¹²⁵ A areia quartzosa é formada, principalmente por grãos de quartzo com arredondamento e esfericidade variados na sua coloração (rosa, ocre, cinza, vermelha e branca) (http://www.brasilminas.net/produtos_item.php?id=areia%20quartzosa)

¹²⁶ COMITE EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **EN 12004**: *adhesives for tiles: requirements, evaluation of conformity, classification and designation*. 2007.

¹²⁷ COMITE EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **EN 1015-11**: *methods of test for mortar for masonry: determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. 1999.

¹²⁸ COMITE EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **EN 1015-18**: *methods of test for mortar for masonry: determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar*. 2002.

¹²⁹ COMITE EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **EN 1015-19**: *methods of test for mortar for masonry: determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars*. 1999.

As argamassas ensaiadas por Gaudêncio (2014) e que serão apresentadas neste trabalho, foram batizadas pela autora com os seguintes códigos: CC.01, CC.02, C1PSG.01, C1SG.02, C1SG.03. Na tabela 52 a seguir, consta a descrição das argamassas e seus respectivos símbolos.

Tabela 52 – descrição das argamassas estudadas e sua simbologia

GAUDÊNCIO, 2014	
C1PSG.x	. Argamassa-cola com combinação de OPC com GGBFS, variando a quantidade de cimento - x varia de 01 a 02
C1SG.00	. Argamassa-cola padrão com base em GGBFS
C1SG.x	. Argamassa-cola com base em GGBFS com introdução de diferentes aditivos - x varia de 01 a 03
CC.01	. Cimento-cola cinza melhorado com tempo aberto alongado, deformável e deslizamento reduzido
CC.02	. Cimento-cola cinza de presa normal com tempo aberto alongado e deslizamento reduzido

(fonte adaptada de GAUDÊNCIO, 2014, p. 34)

As duas primeiras argamassas, CC.01 e CC.02, correspondem a produtos tradicionais do mercado português, produzidos e comercializados pela marca Saint-Gobain Weber. A autora não informou o nome comercial destas argamassas, entretanto disponibilizou a sua composição, de acordo com a tabela 53 abaixo, caracterizando a argamassa CC.01 como uma argamassa colante cinza, com maior capacidade de aderência, com tempo em aberto aumentado, deformável e com deslizamento reduzido. Já a CC.02 constitui em uma argamassa colante cinza de tempo de cura normal, com tempo em aberto aumentado e deslizamento reduzido.

Tabela 53 – composição e traço em massa das amostras de argamassas CC.01 e CC.02

GAUDÊNCIO, 2014			
FORMULAÇÕES (% EM MASSA)			
	CC.01	CC.02	
COMPONENTES	Areia (0,1 – 0,5 mm)	34,78	74,67
	Areia (0,5 – 1,2 mm)	13,00	-
	Cim. cz, I, 42,5	40,00	18,00
	Cim. cz, II, 42,5	2,50	-
	MKDP	2,50	1,00
	Cinzas volantes	-	6,00
	Éter de celulose	0,47	0,23
	Éter de amido	0,03	0,08
	Polímero redispersável	5,00	-
	Redutor de crómio	0,05	0,025
	Bentonite	0,30	-
	Formiato calcio	0,80	-
	Fibra de celulose	0,57	-

(fonte: GAUDÊNCIO, 2014, p. 81)

Nota-se pela tabela 53, que ambas as argamassas possuem pelo menos um tipo de pozolana: o metacaulim (MKDP) e/ou cinzas volantes.

Quanto aos tipos de cimento Portland utilizados na composição das amostras de CC.01 e CC.02, o cimento cinza I; 42,5 e o cimento cinza II; 42,5 (o número 42,5 corresponde à classe de resistência) fazem parte da variedade de cimentos Portland comercializados em Portugal e normatizados pela EN 197-1¹³⁰, conforme demonstra as tabelas 54 e 55.

Tabela 54 – tipos de cimentos fabricados em Portugal

Tipos Principais	Tipos de cimento corrente em Portugal		Constituintes principais (%)			Constituintes adicionais minoritários (%)
			Clinker	Calcário	Cinza Volante Siliciosa	
			K	L	V	
CEM I	Cimento Portland	CEM I	95 - 100	-	-	0-5
CEM II	Cimento Portland de Calcário	CEM II/A-L	80 - 94	6 - 20	-	0-5
		CEM II/B-L	65 - 79	21 - 35	-	0-5
CEM IV	Cimento Pozolânico	CEM IV/A	40 - 64	-	11 - 35	0-5

(fonte: VARELA e VIEIRA, 2005)

Tabela 55 – classes de resistência e requisitos físicos dos cimentos

Classe de Resistência	Resistência à Compressão (MPa)				Tempo de início de presa min	Expansibilidade mm
	Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência			
	2 dias	7 dias	28 dias			
32,5 N	-	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 R	≥ 10,0	-				
42,5 N	≥ 10,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 R	≥ 20,0	-				
52,5 N	≥ 20,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52,5 R	≥ 30,0	-				

(fonte: VARELA e VIEIRA, 2005)

O código C1PSG corresponde às argamassas ensaiadas onde o cimento Portland foi parcialmente substituído pela pozolana escória de alto forno (GGBFS). A autora fixou o teor de GGBFS em 10% e variou entre as duas amostras a concentração do cimento Portland

¹³⁰ COMITE EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. EN 197-1: cement: composition, specifications and conformity criteria for common cements. 2011.

(cimento cinza I; 42,5 ou OPC¹³¹): 10% para a amostra C1PSG.00 e 7,5% para a amostra C1PSG.01, conforme a tabela 56.

Tabela 56 – composições com diferentes teores de cimento Portland e escória de alto forno

GAUDÊNCIO, 2014			
FORMULAÇÕES (% EM MASSA)			
		C1PSG.00	C1PSG.01
COMPONENTES	Cim. cz., I, 42,5 (OPC)	10,00	7,50
	GGBFS (- reativa)	10,00	10,00
	Areia siliciosa	78,19	80,69
	Éter de Celulose	0,30	0,30
	Polímero redispersável	1,50	1,50
	Redutor de crômio	0,01	0,01

(fonte adaptada de GAUDÊNCIO, 2014, p. 74)

Nos ensaios realizados por Gaudêncio (2014) e que serão apresentados neste trabalho, apenas a amostra C1PSG.01 será utilizada.

Dando prosseguimento aos experimentos, nas amostras de código C1SG, correspondentes às argamassas colantes padrão com base em GGBFS (escória de alto forno), Gaudêncio (2014) alterou o cimento utilizado por um de cura mais rápida (cimento OPC de cura rápida) e reduziu sua quantidade, como pode ser constatado ao se observar a tabela 57. Também foi adicionado às novas composições, dois tipos de escória de alto forno: uma menos reativa e outra mais reativa, além da utilização de ativador alcalino¹³² (designado pela autora de base forte) em diferentes percentagens.

Tabela 57 – composições com diferentes teores de ativador alcalino, cimento Portland de tempo de cura rápido e escória de alto forno

GAUDÊNCIO, 2014					
FORMULAÇÕES (% EM MASSA)					
		C1SG.00	C1SG.01	C1SG.02	C1SG.03
COMPONENTES	GGBFS (- reativa)	25,00	25,00	25,00	25,00
	GGBFS (+ reativa)	7,00	7,00	7,00	7,00
	Areia siliciosa	60,30	60,30	60,30	58,80
	Éter de celulose	0,30	0,30	0,30	0,30
	Cimento OPC de presa rápida	4,90	4,90	4,90	4,90
	Anidrite	2,50	2,50	2,50	2,50
	Ativador alcalino	-	0,50	1,00	1,00
	Polímero redispersável	-	-	-	1,50

(fonte adaptada de GAUDÊNCIO, 2014, p. 75)

¹³¹ OPC é a sigla para Cimento Portland Ordinário ou Comum em Portugal (NOTA DA AUTORA).

¹³² Ativador alcalino é uma substância que quando adicionada à argamassa promove a formação, a partir de reações químicas, de um material com propriedades cimentícias denominado geopolímero. (<http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/viewFile/340/282>)

Das quatro composições da tabela 57, apenas as amostras C1SG.02 e C1SG. 03 fizeram parte do ensaio realizado por Gaudêncio (2014) cujos dados serão analisados no presente trabalho.

A densidade da pasta (em g/cm^3) e a percentagem de água de amassadura dos cinco tipos de argamassas analisadas, estão dispostas na tabela 58.

Tabela 58 – resultados da caracterização dos produtos em pasta das amostras em estudo

GAUDÊNCIO, 2014					
	FORMULAÇÕES				
	C1PSG.01	C1SG.02	C1SG.03	CC.01	CC.02
%Água	19,00	22,50	23,50	29,00	20,50
ρ_{pasta}	1,29	1,47	1,42	1,38	1,38

(fonte adaptada de GAUDÊNCIO, 2014, p. 83)

10.2 ANÁLISE DOS DADOS

Na sequência serão apresentados os dados correspondentes aos experimentos realizados por Uchôa (2015), Melo et al. (2007) e Gaudêncio (2014).

a. Uchôa (2015)

Os valores obtidos para as argamassas colantes industrializadas AC II e AC III, pertinentes aos ensaios, aos 28 dias, das resistências à tração na flexão e à compressão e do módulo de elasticidade, encontram-se na tabela 59 e nos gráficos das figuras 92 e 93. Nos gráficos, optou-se por representar cinco das nove amostras, a fim de não prejudicar a visualização dos mesmos.

Tabela 59 – resistência à tração na flexão, à compressão e módulo de elasticidade das argamassas AC II e AC III

UCHÔA, 2015											
Resistência à Tração na Flexão				Resistência à Compressão				Módulo de Elasticidade			
ACII	kN/cm ²	ACIII	kN/cm ²	ACII	kN/cm ²	ACIII	kN/cm ²	ACII	GPa	ACIII	GPa
1	0,38	1	0,33	1	1,08	1	0,96	1	2,96	1	5,46
2	0,37	2	0,32	2	1,07	2	0,94	2	2,98	2	5,42
3	0,34	3	0,35	3	1,07	3	0,94	3	2,98	3	5,44
4	0,37	4	0,35	4	1,05	4	0,95	4	2,96	4	5,45
5	0,34	5	0,34	5	1,05	5	0,94	5	2,97	5	5,43
6	0,36	6	0,31	6	1,07	6	0,95	6	2,97	6	5,45
7	0,39	7	0,30	7	1,06	7	0,94	7	2,95	7	5,46
8	0,40	8	0,32	8	1,08	8	0,93	8	2,98	8	5,43
9	0,37	9	0,32	9	1,08	9	0,954	9	2,96	9	5,42
Média	0,37	Média	0,32	Média	1,07	Média	0,95	Média	2,97	Média	5,44

(fonte adaptada de UCHÔA, 2015, p. 213)

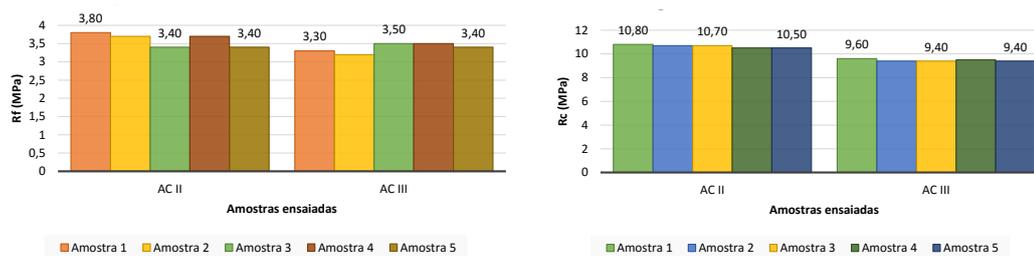


Figura 92 – resistência à tração na flexão e à compressão das argamassas AC II e AC III

(fonte adaptada de UCHÔA, 2015, p. 213)

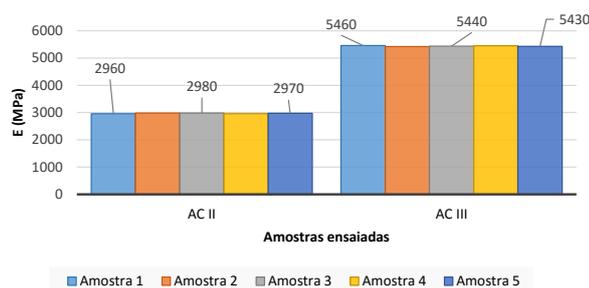


Figura 93 – módulo de elasticidade das argamassas AC II e AC III

(fonte adaptada de UCHÔA, 2015, p. 213)

Analisando a tabela 59 e os gráficos das figuras 92 e 93, é possível perceber que em média, a resistência mecânica diminui sensivelmente da argamassa colante AC II para a AC III. Entretanto, também em média, há um incremento de quase 92% na rigidez da argamassa colante AC III quando comparada com a AC II.

Portanto, dos ensaios realizados, a maior diferença entre as argamassas colantes AC II e AC III reside na rigidez, muito maior na segunda que na primeira.

b. Melo et al. (2007)

Na figura 94 estão representados através de gráficos, os dados obtidos por Melo et al. (2007) para os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão.

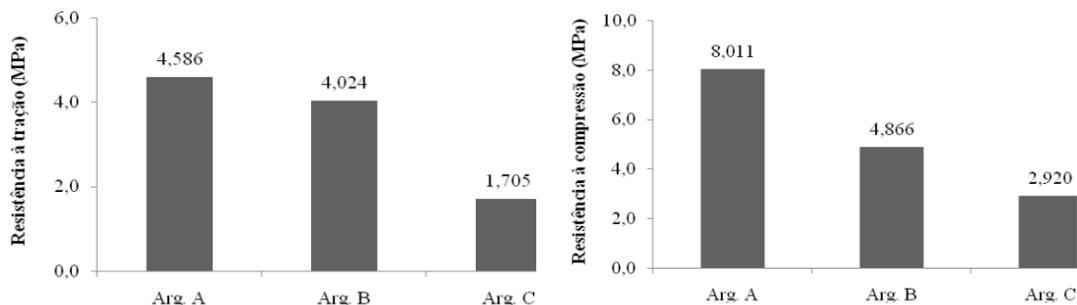


Figura 94 – gráficos, respectivamente, dos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão

(fonte: MELO et al., 2007)

Analisando os gráficos da figura 94 e a tabela 48, é possível constatar que quanto maior o teor de cal na argamassa, menor é a sua resistência, tanto à tração na flexão quanto à compressão.

Melo et al. (2007) chamam a atenção para o fato de que o uso de cimento pozolânico, costuma produzir argamassas mais resistentes devido à presença do material pozolânico que no caso, são as cinzas volantes, porém o acréscimo em 100% (em massa) do teor de cal hidratada em cada amostra surtiu o efeito contrário.

Quanto ao ensaio de absorção de água por capilaridade, os dados obtidos foram apresentados pelos autores através do gráfico da figura 95.

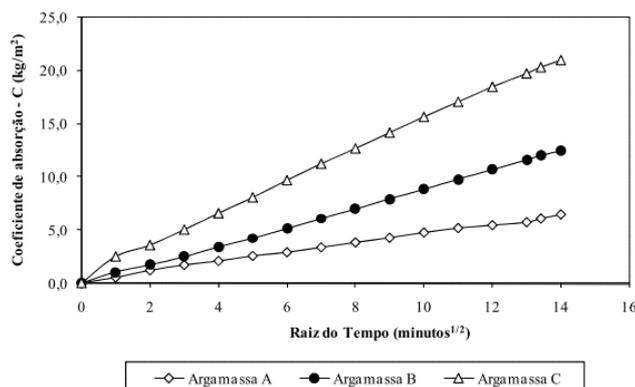


Figura 95 – gráfico do ensaio de absorção de água por capilaridade

(fonte: MELO et al., 2007)

De acordo com Melo et al. (2007) e observando o gráfico da figura 95, a argamassa A, que possui menor quantidade de cal hidratada é a que menos absorve água por capilaridade. Os autores justificam esse fato devido ao “[...] preenchimento dos vazios pelos produtos da hidratação do cimento. Nas argamassas com maior teor de cal, B e C, a capilaridade foi maior

devido à menor quantidade de poros preenchidos, uma vez que o processo de carbonatação é lento.”.

c. Gaudêncio (2014)

Os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão foram realizados por Gaudêncio (2014) aos 28 dias e 56 dias de cura e resultou nos dados dos gráficos da figura 96.

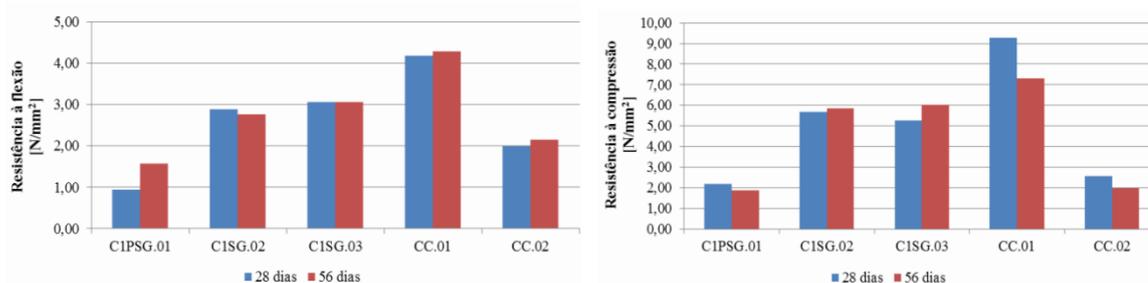


Figura 96 – resistência à tração na flexão e à compressão aos 28 dias e 56 dias

(fonte: GAUDÊNCIO, 2014, p. 91/92)

Conforme a autora e observando os gráficos da figura 96, nota-se que dos cinco tipos de argamassas ensaiadas, a CC.01 é a que possui maior resistência tanto à flexão quanto à compressão e em ambos tempos de cura. Gaudêncio (2014) atribui esse fato à sua alta concentração de cimento Portland, (40% + 2,5%), que acrescenta maior rigidez à composição.

As amostras C1SG.02 e C1SG.03 também obtiveram altas resistências à tensão na flexão e à compressão, de acordo com a figura 96. Gaudêncio (2014) observa que o uso de GGBFS em grandes quantidades aliado a uma quantidade reduzida de cimento Portland de cura rápida (tabela 56), confere maior resistência à argamassa. Além disso, uma vez que a única diferença na composição das amostras C1SG.02 e C1SG.03 é a adição do polímero redispersável¹³³, verifica-se que esta substância interferiu pouco no comportamento mecânico dessas argamassas.

Destaque para a amostra CC.02, que apesar de possuir a segunda maior percentagem de cimento Portland (18%) resultou em uma das menos resistentes dentre as amostras ensaiadas, comprovando que o fato da argamassa possuir cimento, não implica necessariamente em altas

¹³³ Polímero redispersável é um pó que quando adicionado à argamassa, acarreta em uma força de adesão alta e inesperadamente superior, e uma alta resistência a impacto. (<http://www.escavador.com/patentes/103861/po-de-polimero-redispersavel-em-agua-metodos-para-produzir-um-po-de>)

resistências. Corroborando para essa ideia, a amostra C1PSG.01, apesar de possuir maior teor de cimento Portland que as amostras C1SG (7,50% contra 4,90%), apresentou valores para ambas as resistências muito menores que os observados para o grupo C1SG.

Segundo Gaudêncio (2014), a resistência mecânica das argamassas esta diretamente relacionada com a sua porosidade pois quanto mais poroso, menos resistente é o material. Sendo assim, apesar de não ter sido determinado por ensaios, a autora afirma que pelos gráficos da figura 96 é possível estabelecer que a amostra C1PSG.01 é a mais porosa, seguida pela CC.02, C1SG.02, C1SG.03, e por último a CC.01.

Os dados do ensaio para o módulo de elasticidade dos cinco tipos de argamassas encontram-se representados através do gráfico da figura 97.

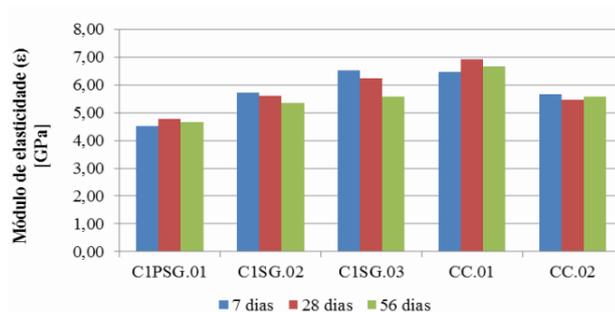


Figura 97 – módulo de elasticidade aos 7 dias, 28 dias e 56 dias

(fonte: GAUDÊNCIO, 2014, p. 91/92)

A análise do gráfico demonstra que, ao contrário do observado para as resistências à tração e à compressão, o ensaio do módulo de elasticidade resultou em valores muito próximos para todas as amostras, inclusive em diferentes idades de cura. Uma vez que a única semelhança entre as cinco composições é o uso do cimento Portland, mesmo que em teores e com tipos diferentes, pode-se sugerir que este aglomerante interfere muito mais na rigidez da argamassa que na resistência mecânica.

Também é possível verificar, da observação dos gráficos das figuras 96 e 97, que o módulo de elasticidade relaciona-se sensivelmente com as resistências à tração e à compressão, pois a sequência de valores das resistências relacionada com cada amostra foi mantida para a elasticidade: A amostra CC.01, a primeira mais resistente é igualmente a primeira mais rígida, a amostra C1SG.03 aproximadamente a segunda mais resistente é a segunda mais rígida e assim por diante.

Com relação à adição de GGBFS (escória de alto forno) nas amostras do grupo C1SG, Gaudêncio (2014) observa que a adição de uma maior quantidade desta pozolana, mesmo com teores menores de cimento Portland, impulsionou o aumento da rigidez da argamassa a valores muito próximos dos obtidos para as amostras CC.01 e CC.02, cujas concentrações de cimento Portland são muito maiores (tabela 53).

Finalmente, verifica-se que o polímero redispersável adicionado à amostra C1SG.03, influenciou um pouco mais no aumento do módulo de elasticidade que o observado com a resistência mecânica neste grupo.

As características das amostras quanto à absorção de água foram analisadas a partir dos ensaios de absorção de água por capilaridade e de permeabilidade ao vapor de água. Os dados obtidos podem ser visualizados através dos gráficos da figura 98.

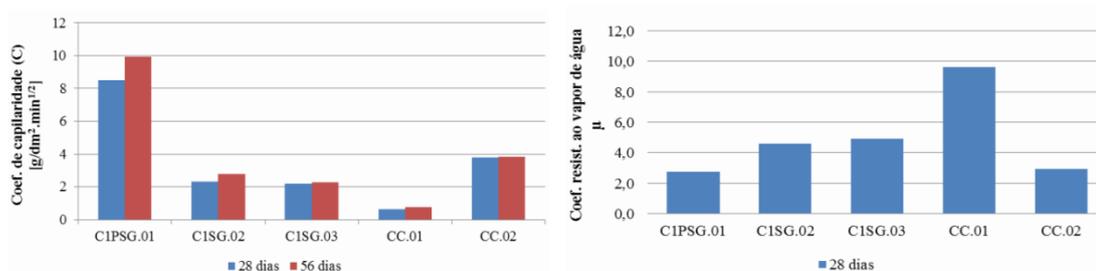


Figura 98 – coeficiente de capilaridade e de resistência ao vapor de água

(fonte: GAUDÊNCIO, 2014, p. 93 e 95)

O coeficiente de capilaridade, como salienta Gaudêncio (2014) é uma propriedade relacionada com a porosidade da argamassa, sendo que quanto mais porosa, maior o seu coeficiente de capilaridade. Partindo desse princípio e analisando a figura 86, verifica-se que a argamassa mais porosa corresponde a amostra C1PSG.01 e a menos porosa a CC.01, comprovando a tese discutida anteriormente de que quanto mais porosa menos resistente é a argamassa.

De uma maneira geral, verifica-se que com o aumento do tempo de cura ocorre um incremento no coeficiente de capilaridade para todas as amostras, mesmo que pouco significativa, em alguns casos.

Gaudêncio (2014) comenta a respeito do baixo valor do coeficiente de capilaridade verificado para a amostra CC.01. Segundo a autora, contribuem para esse fato a baixa porosidade dessa

argamassa bem como a alta percentagem de polímero redispersável (5,0% em massa) na sua composição, uma vez que este polímero tende a dificultar a absorção de água.

A presença do polímero redispersável, 1,5% em massa, na amostra C1SG.03 seria a justificativa, de acordo com Gaudêncio (2014) para o menor coeficiente de capilaridade dessa argamassa com relação a C1SG.02.

Quanto à permeabilidade ao vapor de água, os ensaios foram realizados para 28 dias de cura, conforme o gráfico do coeficiente de resistência ao vapor de água da figura 98.

Gaudêncio (2014, p. 95) informa que “ a porosidade e a densidade dos materiais influenciam a resistência das argamassas à passagem do vapor de água, uma vez que quanto menor a porosidade (ou maior a densidade) mais difícil se torna a passagem do vapor de água através da microestrutura dos materiais.”.

Observando o gráfico da figura 98, nota-se que as argamassas que oferecem menor resistência à passagem do vapor de água são a C1PSG.01 e a CC.02, exatamente as composições mais porosas.

A exemplo do comentado para o coeficiente de capilaridade, também quanto ao coeficiente de resistência ao vapor de água verifica-se a influência do polímero redispersável, pois o seu alto teor (5,0 % em massa) na amostra CC.01 sugere, segundo a autora, a sua relação direta com o aumento da resistência ao vapor de água dessa argamassa. O mesmo pode ser concluído com relação as amostras do grupo C1SG, pois a presença do polímero aumentou sensivelmente a resistência na argamassa C1SG.03 comparada com a C1SG.02.

10.3 REQUISITOS PARA ARGAMASSAS DE RESTAURAÇÃO

Complementando as recomendações apresentadas no capítulo 8 sobre a composição de argamassas de uso mais eficaz em obras de restauração, Veiga (2005) estabeleceu valores limites para as principais características a serem analisadas, conforme os quadros 2 e 3.

Quadro 2 – características mecânicas aos 28 dias, das argamassas de restauração

Uso	Características Mecânicas (MPa)			Aderência (MPa)	Comportamento à retração restringida [4]			
	Rt	Rc	E		F _{rmáx} (N)	G (N.mm)	CSAF	CREF (mm)
Reboco exterior	0,2 – 0,7	0,4 – 2,5	2000-5000	0,1 – 0,3 ou rotura coesiva pelo reboco	< 70	> 40	> 1,5	> 0,7
Reboco interior	0,2 – 0,7	0,4 – 2,5	2000-5000		< 70	> 40	> 1,5	> 0,7
Juntas	0,4 - 0,8	0,6 – 3	3000-6000	0,1 – 0,5 ou rotura coesiva pela junta	< 70	> 40	> 1,5	> 0,7

Rt – Resistência à tração; Rc – Resistência à compressão; E – Módulo de elasticidade; Fr máx – Força máxima induzida por retração restringida; G – Energia de rotura à tração; CSAF – Coeficiente de segurança à abertura da 1ª fenda; CREF – Coeficiente de resistência à evolução da fendilhação.

(fonte: VEIGA, 2005)

Quadro 3 – características não mecânicas aos 28 dias, das argamassas de restauração

Uso	Comportamento à água					Envelhecimento artificial acelerado	Comportamento aos sais
	Ensaio clássico		Ensaio com humidímetro [14, 18]				
	S _D (m)	C (kg/m ² .h ^{0,5}) (kg/m ² .min ^{0,5})	M (h)	S (h)	H (mv.h)		
Reboco exterior	< 0,08	< 12; > 8 (< 1,5; > 1,0)	> 0,1	< 120	< 16 000	Médio: degradação moderada nos ciclos água/gelo	Teores reduzidos de sais solúveis. Resistência aos sais existentes na parede (estudos em curso).
Reboco interior	< 0,10	-	-	< 120	-		
Juntas	< 0,10	< 12; > 8 (< 1,5; > 1,0)	> 0,1	< 120	< 16 000		

S_D - espessura da camada de ar de difusão equivalente (valor relacionado com a permeância); C - coeficiente de capilaridade; M - atraso na molhagem; S - período de humedecimento; H - intensidade de molhagem.

(fonte: VEIGA, 2005)

No presente trabalho, serão considerados os estudos de Veiga (2005) acerca da argamassa utilizada em rebocos exteriores, devido à dificuldade em se encontrar pesquisas voltadas para a elaboração de argamassas de assentamento destinadas às fachadas azulejadas antigas. Inclusive Japiassú (2011), comenta sobre os requisitos elaborados por Veiga (2005), que “[...] diante da carência de parâmetros específicos de argamassas de assentamento de azulejos históricos, essa referência de argamassas históricas de rebocos torna-se um importante ponto de partida para a análise das argamassas de reabilitação¹³⁴ estudadas.”.

Além disso, é possível considerar a fachada azulejada como um reboco exterior em alguns aspectos levantados por Veiga (2005), como em relação à função de proteção do imóvel e a elevada exposição a agentes potencialmente destrutivos, como mudanças de temperatura,

¹³⁴ Reabilitação é um termo mais usual em Portugal, para designar o que no Brasil conhece-se como restauração (NOTA DA AUTORA).

umidade advinda da chuva, etc. Sendo assim, as fachadas azulejadas, assim como os rebocos externos, são os primeiros elementos a se degradarem.

Veiga (2005) comenta que em obras de restauração, normalmente a opção mais frequente é a remoção de todo o reboco externo (ou dos azulejos da fachada) e na sequência a substituição por um reboco (ou o reassentamento dos azulejos) utilizando materiais atuais.

A autora salienta que inicialmente, todos os esforços deveriam ser destinados a conservação daquele reboco antigo (ou da fachada azulejada antiga), “[...] mediante operações de reparação pontual ou mesmo de consolidação e, apenas se verificar que o estado de conservação do reboco não permite a sua conservação se deve encarar a sua substituição.” (VEIGA, 2005).

Na possibilidade de uma substituição dos materiais utilizados, seja para o reboco quanto para o assentamento dos azulejos antigos, suas composições precisam ser compatíveis com as originais. Essa compatibilidade pode ser alcançada com o emprego de materiais que respeitem, por exemplo, os parâmetros estudados e comprovados por Veiga (2005), conforme os quadros 2 e 3.

10.4 COMPARAÇÃO ENTRE AS ARGAMASSAS ESTUDADAS

Nesta etapa do trabalho, serão confrontadas características das argamassas para restauração propostas no capítulo 8 e das argamassas contendo cimento analisadas neste capítulo. A comparação será feita de acordo com as orientações de Veiga (2005), dispostas nos quadros 2 e 3 para rebocos externos, de acordo com a justificativa anterior.

Visando um melhor entendimento foi elaborada a tabela 60 contendo os dados das argamassas estudadas e da argamassa que serviu como referência.

Tabela 60 – comparação entre as argamassas analisadas e os limites estipulados por Veiga (2005)

Características	Reboco Exterior (VEIGA, 2005)	Argamassas para Restauração								Argamassas com Cimento									
		(JAPIASSÚ, 2011)				(TEIXEIRA E VALENTE, 2008)				(UCHÔA, 2015)		(MELO et al., 2007)*			(GAUDÊNCIO, 2014)*				
		A	B	C	D	COR	COM	CORM	CRM	AC II	AC III	Arg. A	Arg. B	Arg. C	CIPSG.01	CISG.02	CISG.03	CC.01	CC.02
Módulo de Elasticidade (MPa)	2000 - 5000	3740	3876	5048	7201	2970	3810	2905	3300	2970	5440	–	–	–	4800	5700	6100	7000	5600
Resistência à Tração (MPa)	0,20 - 0,70	0,50	0,60	0,90	1,30	0,20	0,52	0,37	0,42	3,70	3,20	4,59	4,02	1,71	0,95	2,90	3,05	4,10	2,00
Resistência à Compressão (MPa)	0,40 - 2,50	1,10	2,30	4,90	7,60	0,62	2,78	2,18	2,63	10,70	9,50	8,01	4,87	2,92	2,05	5,80	5,20	9,30	2,70
Coefficiente de Capilaridade (Kg/m ² .h ^{1/2})	8,00 - 12,00	19,60	19,60	13,30	11,90	10,94	8,01	8,64	8,71	–	–	3,62	6,04	10,87	6,51	1,91	1,61	0,77	2,98

* Os valores referentes a parte de Melo K. A. et al. 2007 e Gaudêncio, 2014, foram aproximados a partir dos gráficos obtidos dos seus trabalhos.

(fonte elaborada pela autora)

Como é possível constatar pela tabela 60, das dezoito amostras de argamassas analisadas neste trabalho, apenas duas estão totalmente dentro dos parâmetros estipulados por Veiga (2005): as argamassas COR e CORM, propostas em ambos os trabalhos de Teixeira (2008) e Valente (2008).

Entretanto, nota-se que mesmo as outras amostras dos trabalhos citados, COM e CRM, cujos valores da resistência à compressão estão fora do limite estipulado por Veiga (2005), poderiam se enquadrar como adequada a figurar como argamassa de restauração, pois esses valores estão muito próximos do limite de 2,50 MPa.

Portanto, é admissível considerar as argamassas dos trabalhos de Teixeira (2008) e Valente (2008) como aptas a substituírem as argamassas originais no assentamento de azulejos antigos, de acordo com os valores de referência para a resistência mecânica, rigidez e absorção de água por capilaridade.

Cabe ressaltar que, conforme a tabela 23, as amostras COR e CORM são compostas por cal e uma mistura meio a meio de areia de rio e saibro, sendo que a CORM também possui metacaulim.

Analisando as argamassas compostas por cimento, nenhuma das dez amostras possuiu integralmente todas as suas características dentro dos limites propostos por Veiga (2005) para uma argamassa de restauração. Percebe-se que, dentre as características analisadas, as argamassas com cimento possuem valores muito acima do aceitável quanto à resistência mecânica e muito abaixo quanto à absorção de água por capilaridade, ou seja, são muito resistentes e impermeáveis.

A única um pouco mais próxima dos parâmetros de Veiga (2005) foi a amostra C1PSG.01 composta, de acordo com a tabela 56, por cimento Portland comum e escória de alto forno.

Quanto às argamassas industrializadas comumente utilizadas no Brasil para assentamento de azulejos em fachadas externas, a AC II e AC III, verifica-se da tabela 60, que possuem alta resistência à tração e à compressão quando comparadas às argamassas propostas para restauração e que não possuem cimento Portland na sua composição.

As amostras ensaiadas por Melo et al. (2007), compostas por quantidades fixas de cimento Portland e agregado, variando apenas na percentagem de cal hidratada, conforme a tabela 48, também não conseguiram se adequar aos limites utilizados como referência. Nessas argamassas percebe-se que mesmo com o aumento gradativo de cal nas amostras, a resistência à tração está muito além do valor limite de 0,70 MPa, apesar de ser uma das menos resistentes dentre as amostras com cimento.

Nota-se também, a partir das tabelas 48 e 60, que provavelmente o alto teor de cal hidratada da amostra Arg. C foi responsável pelo aumento na sua capacidade de absorção de água por capilaridade, conseguindo ultrapassar o valor das amostras COM, CORM e CRM, sem cimento na sua composição.

Em suma, de acordo com a tabela 60, as argamassas contendo cimento, independentemente dos outros materiais que possam constar em sua composição, são altamente resistentes mecanicamente, rígidas e impermeáveis.

10.5 CONSEQUÊNCIAS DO USO DO CIMENTO PORTLAND NAS EDIFICAÇÕES ANTIGAS

Cimento Portland ou simplesmente cimento, é um aglomerante hidráulico finamente moído, obtido pela mistura homogênea de *clínquer* (calcário e argila cozidos ou calcinados em fornos a altas temperaturas e resfriados bruscamente), sulfato de cálcio (gesso) e adições normatizadas (figura 99), que com o acréscimo de água, forma uma pasta homogênea, capaz de endurecer o insumo e conservar essa capacidade mesmo quando submersa. (Associação Brasileira do Cimento Portland - ABCP¹³⁵)

¹³⁵ http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2009/12/press_kit.pdf



Figura 99 – materiais constituintes da produção do cimento Portland

(fonte: *site* Associação Brasileira do Cimento Portland – ABCP¹³⁶)

Conforme Margalha (2011), tanto o cimento Portland quanto a cal hidráulica são constituídos pelas mesmas matérias primas, variando na proporção entre eles e na temperatura de produção. Além disso, segundo a autora, durante a cozedura ocorrem as mesmas reações comuns na obtenção da cal aérea e da cal hidráulica, entretanto a presença de quantidades maiores de sílica e alumina e as altas temperaturas, acima de 1280°C, transformam completamente os materiais, originando o *clínquer* e na sequência o cimento.

O processo de endurecimento do cimento, ainda de acordo com Margalha (2011), quando do contato de seus compostos hidráulicos, os aluminatos e silicatos, com a água é extremamente rápido, ocasionando uma pega instantânea. A fim de retardar por algum tempo esse endurecimento, adiciona-se um retardador de pega, normalmente um sulfato (gesso - CaSO₄).

Margalha (2011, p. 14) então, salienta que “um dos problemas do cimento, para além das resistências elevadas que se obtêm com a sua utilização, é associado à utilização do gesso que forma sais durante o endurecimento e pode ser perigosa a sua existência nos revestimentos, principalmente quando o suporte é pouco resistente.”.

Outra consequência do uso do cimento é devido a sua elevada resistência mecânica. Essa característica é preocupante no caso das alvenarias antigas, pois as mesmas são formadas por um sistema multicamadas no qual, as camadas mais externas e que estarão em contato com a argamassa de cimento, são menos resistentes mecanicamente que as mais internas. Sendo assim, conforme Veiga (2005), o cimento acaba transmitindo ao suporte forças consideradas

¹³⁶ http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2009/12/press_kit.pdf

excessivas, propiciando o surgimento de fissuras por tração na camada revestida pela argamassa antiga.

As argamassas contendo cimento também costumam ser mais rígidas do que as argamassas antigas de cal ou as argamassas de restauração. A consequência desse fato é o surgimento de fissuras no suporte antigo, pois a argamassa de cimento não consegue acompanhar a deformação da alvenaria antiga, degradando-a.

Outra característica do uso do cimento é sua baixa capacidade de absorção de água por capilaridade e baixa permeabilidade ao vapor de água. Como consequência, a umidade permanecerá por mais tempo no interior do imóvel. Além disso, os sais solúveis continuarão na edificação antiga, cristalizando-se e dando origem a eflorescências e a criptoflorescências.

11 RESTAURAÇÃO, IMPORTÂNCIA E NORMAS DA BOA PRÁTICA

A obra de restauração difere-se em muito de uma obra comum, pois é necessário privilegiar vários aspectos intimamente relacionados à edificação antiga, como o conhecimento sobre os materiais originais e as técnicas empregadas. Para tanto, a partir das Cartas Patrimoniais, foram elaborados planos de conduta em cada país, a fim de orientar os profissionais durante uma obra de restauração.

As Cartas Patrimoniais, escritas a partir de 1931 com a Carta de Atenas, são documentos que contêm desde conceitos a medidas para ações administrativas com diretrizes de documentação, promoção da preservação de bens, planos de conservação, manutenção e restauro de um patrimônio, sendo frequentemente atualizados¹³⁷.

Dessa maneira, com documentos que atestem que determinada edificação antiga se configura como um patrimônio histórico e que como tal é obrigatória a sua preservação conforme determina os órgãos responsáveis do local, haverá maiores chances deste imóvel ser restaurado e preservado adequadamente.

11.1 CONCEITOS

No Brasil, o IPHAN, Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, estabelece, no Art. 3º para os fins e efeitos desta Portaria (Portaria nº 420, de 22 de dezembro de 2010¹³⁸), que serão adotadas as seguintes definições:

I – Intervenção: toda alteração do aspecto físico, das condições de visibilidade, ou da ambiência de bem edificado tombado ou da sua área de entorno, tais como serviços de manutenção e conservação, reforma, demolição, construção, restauração, recuperação, ampliação, instalação, montagem e desmontagem, adaptação, escavação, arruamento, parcelamento e colocação de publicidade;

II – Conservação: conjunto de ações preventivas destinadas a prolongar o tempo de vida de determinado bem;

¹³⁷ <https://archiurban.wordpress.com/2015/04/17/cartas-patrimoniais/>

¹³⁸ http://portal.iphan.gov.br/uploads/legislacao/Portaria_n_420_de_22_de_dezembro_de_2010.pdf

III – Manutenção: conjunto de operações destinadas a manter, principalmente, a edificação em bom funcionamento e uso;

V – Reforma ou Reparação: toda e qualquer intervenção que implique na demolição ou construção de novos elementos tais como ampliação ou supressão de área construída; modificação da forma do bem em planta, corte ou elevação; modificação de vãos; aumento de gabarito, e substituição significativa da estrutura ou alteração na inclinação da cobertura;

VII – Restauração: serviços que tenham por objetivo restabelecer a unidade do bem cultural, respeitando sua concepção original, os valores de tombamento e seu processo histórico de intervenções;

11.2 CUIDADOS NECESSÁRIOS EM UM PROCESSO DE INTERVENÇÃO

Constatando-se a real necessidade de restauração, é imprescindível um estudo detalhado da metodologia e dos materiais a serem empregados durante a intervenção, pois os mesmos devem ser compatíveis com os originais sob pena de degradarem, a curto prazo, o objeto da intervenção. No caso das fachadas, segundo Veiga (2003, p. 02),

A opção sobre a estratégia de intervenção a adotar em revestimentos antigos deve basear-se em critérios científicos, tendo em conta o seu valor histórico e arquitetônico, o seu estado de conservação real, a disponibilidade de meios, entre outros fatores. Hoje pensa-se que o edifício antigo vale, não só pela sua arquitetura formal, mas também pelo conjunto funcional e pelos materiais e tecnologia utilizados, os quais constituem, em si próprios, valores a preservar. Também por razões práticas e económicas, é necessário garantir a durabilidade do conjunto.

O desconhecimento da sua constituição e da tecnologia envolvida fazem com que a opção comum para a sua reparação seja a extração de todo o revestimento e a sua substituição por uma solução atual, em geral não adaptada ao funcionamento da parede antiga. Muitas vezes, as soluções adotadas, além de descaracterizarem os edifícios, são funcionalmente desadequadas e têm um desempenho e uma durabilidade inferiores aos pré-existentes.

No Brasil, o IPHAN, através dos manuais de conservação e de encargos, atualizado em 2010 a partir da Portaria n° 420, de 22 de dezembro¹³⁹, fornece as diretrizes a serem seguidas em uma obra de restauração. De acordo com Tinoco (2007, p. 09), “[...] as intervenções de conservação e restauro em conjuntos azulejares luso-brasileiros devem ser realizadas com base em projetos executivos, devidamente aprovados pelas instituições reguladoras e fiscalizadoras, em níveis federal, estadual e municipal”.

¹³⁹ http://portal.iphan.gov.br/uploads/legislacao/Portaria_n_420_de_22_de_dezembro_de_2010.pdf

Além disso, o CONFEA (Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia) na sua Decisão Normativa Nº 83, de 26 de setembro de 2008¹⁴⁰ dispõe sobre as qualificações dos profissionais aptos a exercerem procedimentos de preservação de bens públicos.

No caso de intervenções em rebocos, que configura o suporte dos azulejos em uma fachada por estes revestida, Veiga (2003, p. 03), indica quatro grandes opções possíveis de intervenção nos revestimentos antigos, a saber:

i) a primeira opção deve ser a conservação do revestimento antigo através de operações de manutenção e de reparação pontual, nomeadamente através de limpeza e de tratamento (por exemplo com biocidas), da correção de situações que podem dar origem a infiltrações de água, da reparação das camadas de acabamento, da colmatação de fendas, etc.;

ii) se tal for inviável, pode ser apropriada uma consolidação do revestimento existente, no entanto só se justifica recorrer às técnicas especializadas e caras de consolidação de rebocos quando o edifício ou o revestimento é de valor elevado, quer por razões históricas ou artísticas, quer devido à raridade da técnica ou do material;

iii) em terceiro lugar, pode encarar-se a substituição parcial em alguns adornos, com recurso a revestimentos semelhantes aos antigos;

iv) em último caso, quando as anomalias existentes são de severidade elevada, pode de fato ser necessário substituir a totalidade do reboco; por vezes, basta substituir a última camada, mais fissurada ou contaminada por microrganismos, ou uma determinada zona do reboco, por exemplo afetada de forma prolongada por uma infiltração de água. Outras vezes, perante uma desagregação generalizada, por exemplo, impõe-se a substituição total. [...] nestes casos, é de primordial importância que os materiais de substituição sejam adequados, sob pena de se correr o risco de acelerar a degradação.

Ainda segundo Veiga (2003, p. 05), é fundamental uma caracterização correta do estado de conservação e do tipo e gravidade da degradação existente para assim ser possível decidir corretamente sobre o tipo de intervenção a realizar. Em seu artigo intitulado *As Argamassas na Conservação*, Veiga disponibiliza as informações contidas no quadro 4, a seguir, que de forma geral auxilia em uma primeira análise da situação a ser restaurada.

¹⁴⁰<http://normativos.confea.org.br/ementas/visualiza.asp?idEmenta=41098&idTipoEmenta=1&Numero=>

Quadro 4 – critérios gerais de decisão sobre o tipo de intervenção

Tipo de degradação	Valor histórico, arquitectónico ou artístico	Opção de intervenção	Seleção dos materiais	Seleção das técnicas	Outras exigências
Degradação superficial pontual	Elevado	Conservação, e, se necessário, consolidação	Materiais compatíveis e idênticos	Técnicas tradicionais e/ou especializadas	Reversibilidade; aspecto idêntico
	Reduzido	Conservação, e, se necessário, reparação localizada	Materiais compatíveis dos pontos de vista funcional e de aspecto	-	Reparabilidade; aspecto compatível
Degradação superficial generalizada	Elevado	Conservação, e se necessário, consolidação	Materiais compatíveis e idênticos	Técnicas tradicionais e/ou especializadas	Reversibilidade; aspecto idêntico
	Reduzido	Conservação e reparação localizada	Materiais compatíveis dos pontos de vista funcional e de aspecto	-	Reparabilidade; aspecto compatível
Degradação profunda pontual	Elevado	Conservação, consolidação e reparação localizada	Materiais compatíveis e idênticos	Técnicas tradicionais e/ou especializadas	Reversibilidade; aspecto idêntico
	Reduzido	Substituição parcial	Materiais compatíveis dos pontos de vista funcional e de aspecto	Técnicas de aplicação de acordo com as regras da boa arte	Reparabilidade; aspecto compatível
Degradação profunda generalizada	Elevado	Consolidação	Materiais compatíveis e idênticos	Técnicas tradicionais e/ou especializadas	Reversibilidade; aspecto idêntico
	Reduzido	Substituição integral	Materiais compatíveis dos pontos de vista funcional e de aspecto	Técnicas de aplicação de acordo com as regras da boa arte	Reparabilidade; aspecto compatível

(fonte: VEIGA, 2003, p. 04)

11.3 IMPORTÂNCIA DA PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO EDIFICADO

Os prédios históricos compõem a identidade de um povo. Transmitem ao estrangeiro, características e peculiaridades daquele lugar e de seus habitantes e deixam como legado às gerações futuras, um material vasto de conhecimentos.

As antigas fachadas com azulejos provenientes do final do século XIX e início do século XX, base deste estudo, constituem uma pequena parte do rico rol de edificações importantes na história do passado de Portugal e do Brasil. Ilustram, com seus azulejos de padrões tão diferentes e finamente elaborados, o gosto estético da época e a revolução que o advento das máquinas a vapor fez surgir, inclusive em terras brasileiras. Refletem também a curiosa inversão de influências quando a tradição no Brasil, de revestir com placas cerâmicas as fachadas das casas, se espalha por Portugal, alterando a paisagem urbana de cidades tão importantes como o Porto e Lisboa e até mesmo das pequenas como a litorânea Ovar, hoje conhecida como “Cidade Museu do Azulejo”.

No Brasil, cidades como Belém do Pará e São Luís no Maranhão, devem boa parte do seu turismo ao que resta do seu casario de fachadas azulejadas. São Luís, a “Cidade dos Azulejos”, conforme o Catálogo dos Azulejos de São Luís, publicado em 2004, consta de 423 imóveis com azulejos históricos vindos não só de Portugal, como também da Bélgica, França, Alemanha, Espanha, Inglaterra e Holanda, entre os séculos XVIII e início do século XX. Além dessas cidades, espalhadas por todo o país ainda é possível encontrar edificações com fachadas azulejadas, pois essa prática era usual na época, entre os portugueses abastados que moravam por aqui.

Como bem comenta Margalha (2011, p. 29) sobre a conservação e recuperação do patrimônio,

A intervenção em edifícios antigos deve manter a aparência original, resultante do tempo, respeitando-se os valores históricos e a sua antiguidade. A reversibilidade que se procura raramente pode ser total. A impossibilidade de cumprirmos este princípio tão aplaudido em conservação, faz-nos caminhar para um princípio mais abrangente do mínimo de intervenção. Procurar intervir consolidando as superfícies originais e fazendo apenas o que for necessário para manter o edifício.

Em conservação, a melhor obra é aquela que não se vê. Não se pretende com isto afirmar que as cidades devam cristalizar e que obrigatoriamente todos os prédios tenham que ser restaurados com as condições próprias da época da sua edificação. Há que estabelecer prioridades, para não cair no erro de considerar todo o patrimônio um monumento. Não sendo possível conservar tudo, por ser muito, corre-se o risco de não intervir bem em nada. Mas deve ser ponderado o processo de restauração, definir o que queremos preservar, mas com a consciência daquilo que temos que sacrificar.

Infelizmente, há poucas obras de restauração em que tenham sido preservadas as cores originais, os ornamentos e os valores da arquitetura tradicional. Fundamental é as pessoas em geral compreenderem a necessidade de preservar o legado que nos foi deixado, já que este não deve pertencer somente aos técnicos ou especialistas.

11.4 QUESTIONÁRIO

A fim de um melhor entendimento a respeito de como pensam os profissionais e estudantes dos cursos de engenharia civil e arquitetura, sobre a melhor conduta a ser empregada em uma obra de restauração, foi aplicado um breve questionário aos professores e estudantes da UFRGS¹⁴¹. Neste material, que pode ser consultado em anexo, o entrevistado era convidado a participar de uma situação hipotética na qual, seria responsável pela restauração da fachada azulejada de uma casa do século XIX.

¹⁴¹ UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Ciente que deveria ser recuperada a base da fachada e reassentado azulejos produzidos como réplica dos faltantes, questiona-se como o entrevistado procederia nesta situação, marcando apenas uma das alternativas abaixo:

1. Pesquisaria sobre a composição e o traço da argamassa de assentamento utilizadas na época da construção do imóvel e empregaria, durante o processo de intervenção, exatamente a mesma composição, afinal de contas mesmo não mantendo os azulejos aderidos por muito tempo, em uma restauração não posso utilizar materiais diferentes do que já existiam no prédio.
2. A partir da pesquisa sobre a composição da argamassa de assentamento empregada originalmente no imóvel, proporia a adição de novos produtos e traços à esta mistura, desde que comprovadamente respeitasse a trabalhabilidade existente entre os materiais constituintes, pois mesmo em uma obra de restauração nada me impede de utilizar conhecimentos e avanços tecnológicos atuais na área de materiais de construção.
3. A fim de manter por muito mais tempo a integridade do imóvel a ser restaurado, utilizaria o que há de melhor no mercado com relação a assentamento de azulejos em fachadas, ou seja, argamassa colante à base de cimento e rejunte epóxi, pois toda a tecnologia empregada na pesquisa e produção desses produtos são garantias de uma boa escolha, não só para obras atuais como também para as antigas.

A partir dos dados provenientes das 261 respostas, foram elaborados os gráficos da figura 100

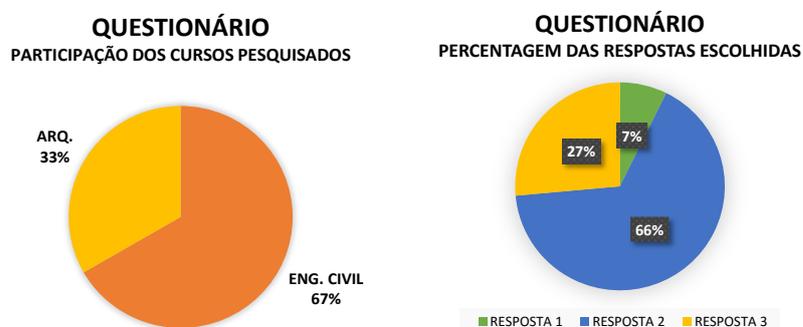


Figura 100 – dados relativos ao questionário aplicado

(fonte elaborada pela autora)

Analisando os gráficos, constata-se que apenas 7% tentaria repetir a composição da argamassa original (resposta nº 1), o que representaria um grande desafio, pois além das incertezas acerca da verdadeira composição original, a obtenção dos materiais utilizados tantos anos atrás, seria quase impossível.

A grande maioria (66%) optaria pela conduta, comprovada neste trabalho, como a mais sensata e eficiente, que corresponde a resposta de número 2. Quanto à resposta de número 3, que representa o foco deste trabalho, 27% das pessoas questionadas utilizariam argamassa à base de cimento durante a obra de restauração.

Em síntese, a avaliação que pode ser feita a respeito dos dados obtidos com a pesquisa, é de que os profissionais da área de construção civil têm consciência de como proceder em uma obra de restauração, pois compreendem a importância do conhecimento das características dos materiais originais e do uso de elementos de mesma trabalhabilidade.

Contudo, na prática o que se observa é uma situação oposta à da obtida com o questionário, pois são poucos os profissionais que, ao intervir em uma edificação antiga, com ou sem fachada azulejada, não utilizem a solução mais barata e mais rápida que consiste no uso de argamassas contendo o cimento Portland.

Provavelmente sejam estas as justificativas para a conduta contraditória do profissional em uma obra de restauração: as pressões quanto ao custo e ao prazo de término da obra. Sendo assim, é possível concluir que a responsabilidade pelo uso de um elemento tão nocivo à edificação antiga, como o cimento Portland, não deve recair apenas ao engenheiro civil e/ou arquiteto, também é importante incluir à responsabilidade, a pessoa jurídica ou física que detém os recursos empregados na obra de restauração e que normalmente estipula os prazos.

A conscientização sobre a maneira correta de se restaurar precisa englobar todos os níveis do processo, do contratante ao executor. Apenas desta maneira, os profissionais da construção civil poderão colocar em prática o conhecimento que possuem e assim a comunidade receberá edificações antigas de fato restauradas.

12 CONCLUSÃO

Através das pesquisas e análises até aqui desenvolvidas, será agora possível comprovar a importância do uso de argamassas de cal na restauração de fachadas revestidas por azulejos fabricados no final do século XIX e início do século XX, em detrimento do uso de argamassas compostas por cimento Portland, foco deste trabalho.

Para tanto, cada um dos motivos, que isoladamente ou em conjunto, justificam a afirmação supracitada, serão comentados de acordo com a organização seguinte.

12.1 USO DO CIMENTO EM FACHADAS AZULEJADAS ANTIGAS

12.1.1 Argamassas Demasiadamente Resistentes

O cimento empregado sozinho ou com outro aglomerante, tende a formar argamassas com resistências mecânicas muito superiores em relação às argamassas à base de cal.

Essa característica é preocupante no caso das alvenarias antigas, pois as mesmas são formadas por um sistema multicamadas no qual, as camadas mais externas são menos resistentes mecanicamente que as internas. Sendo assim, o cimento passa a transmitir ao suporte forças consideradas excessivas, fissurando-o.

Em se tratando de fachadas azulejadas antigas, essa situação ainda é mais desastrosa, como se pode verificar na figura 101, pois o uso do cimento como argamassa de assentamento, aumenta a concentração das tensões levando a possível queda dos azulejos em seu redor.



Figura 101 – fachada com falta de azulejos e com assentamento utilizando argamassa de cimento.

(fonte: LOPES e SOUTO, 2012, p. 8)

12.1.2 Argamassas Mais Rígidas

As argamassas compostas por cimento também costumam ser mais rígidas do que as argamassas antigas de cal ou as argamassas utilizadas em restauração. A consequência desse fato é o surgimento de fissuras no suporte antigo, pois a argamassa de cimento não consegue acompanhar a deformação natural da alvenaria antiga, degradando-a.

12.1.3 Argamassas Menos Permeáveis

O cimento possui como uma de suas características principais, menor capacidade de absorção de água por capilaridade e menor permeabilidade ao vapor de água. As argamassas contendo esse aglomerante apresentarão, portanto, comportamento muito mais impermeável que as originais de cal, dificultando a saída da umidade por evaporação (figura 102).

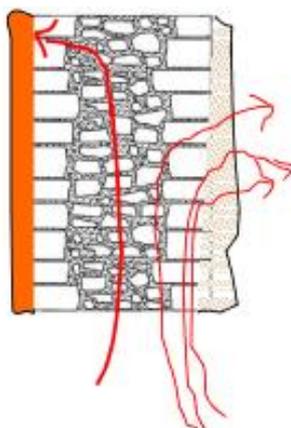


Figura 102 – umidade ascendente com camada de revestimento pouco permeável

(fonte: VEIGA, 2010)

Como consequência, a água que naturalmente entrava e saía da edificação graças à elevada porosidade e permeabilidade das argamassas originais de cal, permanecerá por mais tempo, principalmente na interface entre a camada de azulejos e o suporte, estando em contato, portanto, com o tardo dos azulejos; pois a sua tendência natural é a de sair pela fachada (figura 102).

O excesso de umidade na edificação será responsável pelo surgimento de manchas visíveis na fachada azulejada, conforme a figura 103. Essa umidade constante no tardo do azulejo será

transmitida também ao biscoito e assim, o azulejo como um todo se expandirá ao máximo, devido à absorção de uma quantidade de água além da sua capacidade.



Figura 103 – fachada azulejada com manchas decorrentes do excesso de água

(fonte: RELATÓRIO 303/2011- LNEC, 2011, p. 08)

Após algum tempo, a umidade evaporará e o azulejo mesmo seco, não voltará a ter as suas dimensões originais, permanecendo maior que antes da absorção de água. Os próximos ciclos de molhagem/secagem, novamente expandirão o azulejo que na sequência, se descolará da fachada, como ilustra a figura 104.



Figura 104 – instabilidade de vários azulejos em fachada, devido ao excesso de umidade

(fonte: RELATÓRIO 303/2011- LNEC, 2011, p. 13)

O descolamento do azulejo transmite esforços de compressão aos demais que possivelmente também se destacarão, formando conjuntos de azulejos instáveis que em seguida se desprenderão inteiros da fachada, conforme a figura 105. Posteriormente à queda de alguns exemplares, a fachada fica ainda mais vulnerável aos agentes agressores externos, com a argamassa visível.



Figura 105 – perda de vários azulejos em fachada devido ao excesso de umidade

(fonte: RELATÓRIO 303/2011- LNEC, 2011, p. 14)

A umidade é a principal causa de degradação dos azulejos antigos de fachada e como comentado neste item, a utilização de argamassas de assentamento com cimento, favorece o excesso de umidade e o surgimento das suas patologias não apenas na fachada, mas também na edificação como um todo.

12.1.4 Adição de Sais Solúveis

A fim de postergar o endurecimento do cimento quando em contato com a água, que é praticamente instantâneo, durante a sua produção é adicionado um retardador de pega. A substância utilizada como retardador, costuma ser um sulfato (gesso - CaSO_4).

Durante o endurecimento do cimento, presente na argamassa de assentamento, ocorre uma reação proveniente da utilização do gesso, formando sais solúveis em água. Esses sais em seguida migram para a região entre a camada de assentamento e o suporte da alvenaria antiga, ou seja, atrás dos azulejos, conforme a figura 106.

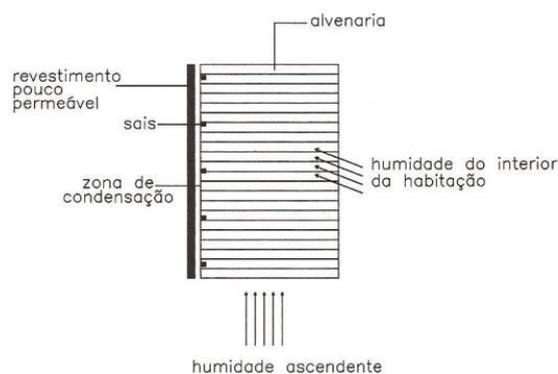


Figura 106 – desenho esquemático de uma alvenaria antiga revestida com material pouco permeável

(fonte: MARGALHA, 2011, p. 20)

12.1.5 Cristalização de Sais Solúveis

Além dos sais provenientes do próprio cimento utilizado na restauração da fachada, outros podem penetrar na edificação antiga vindos de diversas fontes como: solo, poluição atmosférica, água do mar e até mesmo pela proximidade da edificação antiga de materiais como dejetos animais, pesticidas e produtos alimentícios salgados.

Na impossibilidade desses sais deixarem a edificação antiga devido, por exemplo, ao uso de materiais menos permeáveis como o cimento, a sua concentração tende a transmitir esforços ao suporte, que não resistindo fatura por tração.

Ademais, o uso de argamassa de assentamento com cimento, propicia a cristalização dos sais no suporte ou na interface revestimento/suporte, podendo causar danos aos azulejos por eflorescência, de acordo com a figura 107.

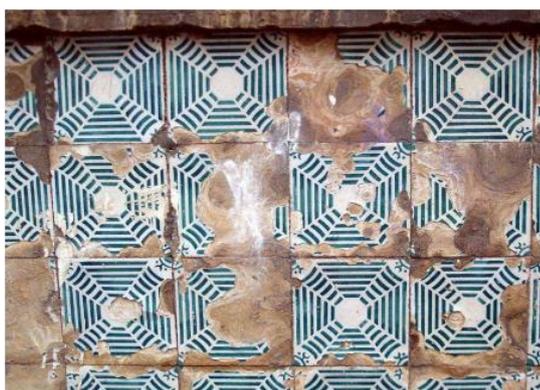


Figura 107 – estágio terminal da degradação com sinais de cristalizações salinas

(fonte: RELATÓRIO 303/2011- LNEC, 2011, p. 27)

A impermeabilidade da camada de assentamento devido ao uso do cimento, também provoca a alteração do percurso habitual da água e das soluções salinas, modificando a lógica funcional dos edifícios antigos e propiciando a ocorrência da cristalização dos sais em regiões onde suas consequências podem ser ainda mais danosas. Se, por exemplo, os sais migrarem para o interior da edificação, estes vão cristalizar-se (criptoflorescências) atingindo poros e vasos capilares de materiais estruturais, reduzindo a vida útil do imóvel como um todo.

As criptoflorescências são consideradas como a principal causa de degradação dos edifícios antigos e, de acordo com o analisado neste item, a utilização de argamassas de assentamento compostas por cimento nas fachadas azulejadas favorece esse tipo de cristalização dos sais.

12.1.6 Elevada Resistência de Aderência à Tração

As argamassas de cimento, a exemplo das argamassas colantes específicas para o revestimento de placas cerâmicas em fachadas externas, possuem alta capacidade de adesão quando comparadas às argamassas à base de cal. Também essa característica prejudica sobremaneira a fachada azulejada antiga quando seus azulejos, em uma obra de restauração, são reassentados com argamassas contendo cimento Portland.

Além da coloração cinza desse aglomerante destoar do aspecto original da fachada, na possibilidade de uma intervenção futura a fim de se retirar o cimento aplicado e substituí-lo por um material adequado, os azulejos serão totalmente inutilizados, pois devido à forte adesão a que estarão submetidos, não sairão íntegros da fachada.

12.2 FECHAMENTO

Em 2012, foi feito um levantamento da situação das fachadas azulejadas do centro histórico da cidade do Porto, em Portugal. Esse estudo contemplou vários aspectos, entre eles o tipo de dano da fachada azulejada como um todo, cuja informação foi representada através do gráfico da figura 108.

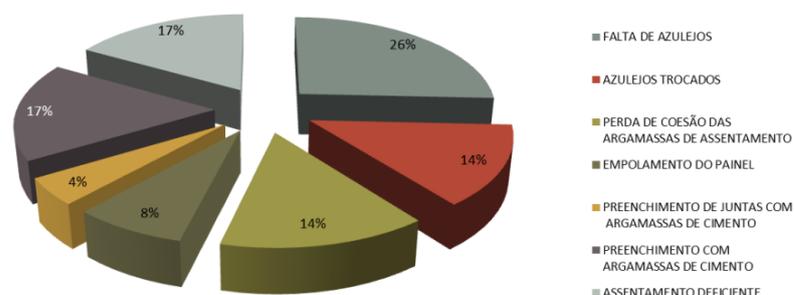


Figura 108 – gráfico representativo dos tipos de danos verificados nas fachadas azulejadas

(fonte: LOPES e SOUTO, 2012, p. 7)

Analisando o gráfico, é possível notar que o uso de argamassas de cimento no preenchimento das juntas (4%) e no preenchimento dos espaços vazios (17%) somam 21% do total. Essa alta percentagem, muito bem evidencia a falta de conhecimento acerca dos efeitos danosos da utilização do cimento em fachadas azulejadas antigas.

Também no Brasil, é muito comum o emprego desse aglomerante em argamassas de assentamento em fachadas revestidas com azulejos antigos, inclusive por profissionais da área de construção civil ao coordenarem obras de restauração.

Portanto, é possível concluir que os estudos e pesquisas sobre a elaboração e aplicação de materiais similares aos originais nas intervenções em fachadas azulejadas antigas, são indiscutivelmente de suma importância, assim como o são as normas que determinam a conduta mais eficiente em uma obra de restauração.

Entretanto, é necessário que toda a informação gerada a respeito, ultrapasse os espaços acadêmicos e chegue às ruas, alcançando o cidadão comum e leigo neste assunto, até porque, na maioria das vezes são eles que usarão o cimento nas fachadas antigas.

Somente desta forma, transmitindo conhecimento para o maior número possível de pessoas e assim conscientizando-as dos malefícios da aplicação de materiais estranhos à edificação antiga, como o cimento Portland, é que será possível preservar as fachadas azulejadas que ainda restam e desta forma perpetuar por mais tempo o passado que tão bem representam.

Sendo assim, trabalhos como este, que visem a conscientização sobre a prática da restauração e preservação, deverão ser levados à diante de uma forma adaptada ao público alvo, a fim de que todos compreendam a mensagem de que nem sempre o resultado imediato e mais barato (que a longo prazo é mais caro e provavelmente devastador), é o mais eficiente e duradouro.

Um povo que ignora e desvaloriza seu patrimônio histórico, desrespeita e agride a si mesmo.



Figura 109 – fachada azulejada em progressivo estado de degradação em São Luís, Maranhão, Brasil

(fonte: *site* do jornal ESTADO DE SÃO PAULO¹⁴²)

¹⁴²www.cultura.estadao.com.br

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818**: placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, Brasil, 1997.

_____. **NBR 7175**: cal hidratada para argamassas – requisitos. Rio de Janeiro, Brasil, 2003.

_____. **NBR 14081**: argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – especificação. Rio de Janeiro, Brasil, 2004.

_____. **NBR 12653**: materiais pozolânicos - requisitos. Rio de Janeiro, Brasil, 2012.

A RELÍQUIA. O Azulejo Através dos Tempos – Parte I. **A Relíquia**, v. 35, n. 20, 2001a. Não paginado. Disponível em: <<http://www.arelquia.com.br/artigos%20anteriores/35azul.htm>> Acesso em: 10 fev. 2016.

A RELÍQUIA. O Azulejo no Brasil – Parte III. **A Relíquia**, v. 37, n. 20, 2001b. Não paginado. Disponível em: <<http://www.arelquia.com.br/artigos%20anteriores/37azulej.htm>> Acesso em: 21 fev. 2016.

AMARAL, R. J. V. **Arquitetura e Cerâmica**: O Espaço da Tradição Mural na Contemporaneidade. 2015. 107 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/81487>>. Acesso em: 06 fev. 2016.

BACKHEUSER, L. A. F. Os “Brasileiros” e a Azulejaria Exterior Portuense do Século XIX. **Vitruvius**, v. 69, n. 6, 2006a. Não paginado. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/06.069/379>> Acesso em: 20 fev. 2016.

BACKHEUSER, L. A. F. **A Casa do Arqueólogo**: Contribuição ao estudo da obra de Ricardo Severo. 2006b. 224 f. Dissertação (Mestrado em Metodologias de Intervenção no Património Arquitetónico) – Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2006. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/64318>>. Acesso em: 07 fev. 2016.

BOTAS, S.; VEIGA, M. do R.; VELOSA, A. Mecanismo de Aderência na Interface Azulejo/Argamassa. In: 4º CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS E ETICS, 2012, Coimbra, Portugal. **Anais...** Coimbra: APFAC, 2012. Não paginado. Disponível em: <http://www.apfac.pt/congresso2012/comunicacoes/Paper%2018_2012.pdf>. Acesso em 25 mar. 2016.

DIAS, N. G.; CARASEK, H. Estudo da Interface Entre Azulejos e Argamassas de Cal. 2011. Não paginado. **Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência - SBPC**. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/conpeex/pibic/trabalhos/NAYARA_G.PDF>. Acesso em: 05 fev. 2016.

FARIA, J. F. D.; TORRAL, F. P.; JALALI, S. Desenvolvimento de Argamassas para Reabilitação de Edifícios Antigos – Parte I. **Revista Engenharia Civil**, n. 39, 2011. 58 f. Braga, Portugal. Disponível em: <<http://www.civil.uminho.pt/revista/n39/Artigo%204-Parte1.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2016.

GAUDÊNCIO, C. A. de O. **Argamassas para Fixação de Cerâmicos Porosos em Reabilitação de Edifícios**. 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2014. Disponível em: <<http://ria.ua.pt/handle/10773/13963>> Acesso em: 05 mai. 2016.

GOMES, J. R. P. **Exemplos da Azulejaria dos Séculos XVI e XVII, em Coimbra**. 2011. 129 f. Dissertação (Mestrado em História da Arte, Património e Turismo Cultural, especialidade em Azulejaria) – Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Portugal, 2011. Disponível em: <<https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/18156>>. Acesso em: 05 fev. 2016.

GONÇALVES, T. D.; RODRIGUES, J. D., Rebocos para Paredes Antigas Afectadas por Sais Solúveis: Patologia, Princípios de Funcionamento e Adequabilidade. In: SEMINÁRIO SAIS SOLÚVEIS EM ARGAMASSAS DE EDIFÍCIOS ANTIGOS: DANOS, PROCESSOS E SOLUÇÕES. 2005, Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa: LNEC, 2005. 14 f. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/260591252>> Acesso em: 30 mai. 2016.

GONÇALVES, T. D.; RODRIGUES, J. D., Argamassas de Revestimento para Paredes Afectadas por Cristalização de Sais Solúveis: Influência do substrato. In: 3º CONGRESSO

PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 2010, Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa: APFAC, 2010. Não paginado. Disponível em: <http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2018_2010.pdf>. Acesso em 30 mai. 2016.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL. **Art.º3, Portaria n°420, de 22 de dezembro de 2010.** Brasília, DF, 2010. Não paginado. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/legislacao/Portaria_n_420_de_22_de_dezembro_de_2010.pdf> Acesso em: 01 mar. 2016.

JAPIASSÚ, P. R. **Estudo do Mecanismo de Aderência de Azulejos e Argamassas de Cal em Revestimentos Históricos.** 2011. 289 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiás, Brasil, 2011.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. **Relatório 303/2011.** Sobre a Degradação Física dos Azulejos de Fachada em Lisboa. 2011. 51 f. Lisboa, Portugal. Disponível em: <<https://seer.imed.edu.br/index.php/arqimed/article/download/939/711>> Acesso em: 01 mar. 2016.

LOPES, B. H.; SOUTO, A. R. P. O Sistema de Monitorização do Plano de Gestão do Centro Histórico do Porto Património Mundial e o seu Contributo para a Salvaguarda do Azulejo de Fachada. **Porto Vivo, SRU – Sociedade de Reabilitação Urbana da Baixa Portuense S. A.** Porto, Portugal, 2012. Disponível em: < www.portovivosru.pt/pdfs/TextoAZULEJAR.pdf> Acesso em: 01 jun. 2016.

MAGALHÃES, A. C. Patologia de Rebocos Antigos. **Caderno de Edifícios, n° 02 – LNEC,** Lisboa, Portugal, 2002. 15f. Disponível em: < <http://mestrado-reabilitacao.fa.utl.pt/disciplinas/jbastos/Rveiga5ACristian.pdf>> Acesso em: 20 mai. 2016.

MARGALHA, M. G. Argamassas. **Documento de apoio às aulas de conservação e recuperação do património** (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Évora, Portugal, 2011. 32 f. Disponível em: <<https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/4969/1/Argamassas.pdf>> Acesso em: 20 fev. 2016.

MARIZ, L. **Conservação e Investigação**. 2011. Não paginado. Disponível em:

<<http://luismariz.com>> Acesso em: 20 fev. 2016.

MATSUSATO M. **Estudo do Comportamento de Argamassas Colantes com Aditivação de Látex Acrílico**. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola

Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em:

<www.teses.usp.br/teses/disponiveis/.../DISSERTACAO_MARCELO_MATSUSATO.pdf>

Acesso em 25 mai. 2016.

MELO, K. A.; ANDRADE, A. F. L.; LIRA, E. M.; FRANÇA, M. S.; QUEIROZ, M. M.; CARNEIRO, A. M. P. A Influência do Teor de Cal Hidratada nas Propriedades de Argamassas de Cimento, Cal e Areia. In: 2º CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 2007, Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa: APFAC, 2007. Não paginado. Disponível em:

<http://www.apfac.pt/congresso2007/comunicacoes/Paper%2045_07.pdf> Acesso em: 23 mai. 2016.

MONTEIRO, D. M. P. **Ensaio de Envelhecimento a Sistemas Azulejares de Fachada**.

2012. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2012. Disponível em: <<http://ria.ua.pt/handle/10773/9672>> Acesso em: 02 abr. 2016.

PÁSCOA, L. S. N. **Índice de Secagem como Parâmetro em Serviço dos Rebocos Aplicados em Paredes Exteriores**. 2012. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2012. Disponível em:

<<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395144993954/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Liliana.pdf>> Acesso em: 28 mar. 2016.

PIMENTA, N.; CASCUDO, O. Caracterização Física dos Azulejos Históricos. 2011. Não paginado. **Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência - SBPC**. Disponível em:

<<http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/conpeex/pibic/trabalhos/NATHALIA.PDF>>. Acesso em: 20 fev. 2016.

REVISTA DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL, nº 14, 1959. 308 f., Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em:

<http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/RevPat14_m.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2016.

- RODRIGUES, T. M. **Influência de Juntas no Comportamento de Fachadas Azulejadas**. 2010. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2010. Disponível em: <<http://ria.ua.pt/handle/10773/4053>>. Acesso em: 23 mar. 2016.
- SANJAD, T. A. B. C.; ANGÉLICA, R. S.; OLIVEIRA, M. M. de; COSTA, W.A. de M. Caracterização Mineralógica de Azulejos de Salvador e Belém dos Séculos XVI, XVII e XIX. **Revista Escola de Minas**, v. 57, n. 4, 2004. Não paginado. Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rem/v57n4/v57n4a07.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2016.
- SANTIAGO, C. C. **Argamassas Tradicionais de Cal**. Salvador: EDUFBA, 2007. Disponível em: <<http://books.scielo.org/id/w2>>. Acesso em 12 fev. 2016a.
- SANTIAGO, C. C. O Restauro da Argamassa de Cal no Brasil. **Construindo**, v. 4, n. 1, p. 67-74. 2012. Disponível em: <<http://www.fumec.br/revistas/construindo/article/view/1696/1169>>. Acesso em: 11 fev. 2016b.
- SILVA, A. S. Importância da Caracterização de Argamassas Antigas para Decisões de Conservação e Reabilitação de Edifícios. In: SEMINÁRIO “REBOCO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS” – LREC, 2013, Ponta Delgada, Portugal. **Anais...** Lisboa: LNEC, 2013. 37 p. Disponível em: <http://www.azores.gov.pt/NR/rdonlyres/39C630F0-14FE-490C-ADD7-887341EAB9B2/737083/Caraterizacao_ArgamacasP1.pdf>. Acesso em 10 abr. 2016.
- SILVA, C. P. da; SILVA, M. F.; ANGÉLICA, R. S.; COSTA, M. L. da; SANJAD, T. A. B. C. Azulejos Históricos Europeus Produzidos no Final do Século XIX e Início do Século XX: Caracterização Mineralógica e Química de Biscoitos. In: XVII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFPA, 17, 2006, Belém, Pará, Brasil. **Anais...** Revista Científica da UFPA, Belém, Pará, Brasil, 2008. Não paginado. Disponível em: <http://www.cultura.ufpa.br/rcientifica/trab_premiados/artigos/cps.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- SILVA, F. B.; BARROS, M. M. S. B. de; MONTE R. Determinação do Módulo de Deformação de Argamassas: Avaliação dos Métodos de Ensaio e Formatos de Corpo de Prova. In: XII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE

CONSTRUÍDO, ENTAC 2008, 12, 2008, Fortaleza, Ceará, Brasil. **Anais...** InfoHab - Centro de Referência e Informação em Habitação, Chapecó, Santa Catarina, Brasil, 2014. Não paginado. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2008/artigos/A1942.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2016.

SIMÕES, J. M. **Avaliação da Aderência na Interface Argamassa/Cerâmico**. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2011. Disponível em: <<http://ria.ua.pt/handle/10773/8709>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

SOUZA, J. S. C. **Estudo de Argamassas à Base de Cal e Metacaulim para Intervenções em Revestimento das Edificações Históricas**. 2013. 227 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, Brasil, 2013.

Disponível em:

<http://repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/12850/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Juliana_Santa_Cruz_Souza_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 02 abr. 2016.

TEIXEIRA, B. M. G. F. **Conservação de Fachadas Azulejadas em Ovar: Comportamento Mecânico**. 2008. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2008. Disponível em: <<http://ria.ua.pt/handle/10773/2326>>. Acesso em: 29 mar. 2016.

TINOCO, J. E. L. Azulejos do Século XIX: Um projeto de Restauro. **Centro dos Estudos Avançados da Comunicação Integrada (CECI)**, v. 44, n. 2, 2010. Não paginado.

Disponível em: <<http://www.ct.ceci-br.org/ceci/br/publicacoes/59-textos-para-discussao/521-textos-para-discussao-v-44.html>>. Acesso em: 12 fev. 2016.

UCHÔA, J. C. B. **Análise Numérica e Experimental da Fadiga Termomecânica em Argamassas Colantes no Sistema de Revestimento Cerâmico**. 2015. 230 f. Tese (Doutorado em Estrutura e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, Brasil, 2016. Disponível em:

<http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/20132/1/2015_Jo%C3%A3oCarlosBarletaUch%C3%B4a.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2016.

VALENTE, C. S. dos S. **Conservação de Fachadas Azulejadas em Ovar: Comportamento Face à Água**. 2008. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de

Aveiro, Aveiro, Portugal, 2008. Disponível em: <<http://ria.ua.pt/handle/10773/2339>>. Acesso em: 29 mar. 2016.

VARELA, N.; VIEIRA, F. S. Cimento: Uma Matéria-Prima Essencial no Fabrico de Argamassas. In: 1º CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 2005, Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa: APFAC, 2005. Não paginado. Disponível em: <<http://www.apfac.pt/congresso2005/comunicacoes/Paper%2037.pdf>> Acesso em: 20 mai. 2016.

VELOSA, A. L. P. L., **Argamassas de Cal com Pozolanas para Revestimento de Paredes Antigas**. 2006. 467 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2006. Disponível em: <<http://ria.ua.pt/handle/10773/2407>>. Acesso em: 10 mai. 2016.

VEIGA, M. do R. As Argamassas na Conservação. In: ACTAS DAS 1ªS JORNADAS DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE DE AVEIRO. AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES EXISTENTES. 1, 2003, Aveiro, Portugal. **Anais...** Colecção Comunicações: COM 103, LNEC, Lisboa 2003. 22 p. Disponível em: <<http://mestrado-reabilitacao.fa.utl.pt/disciplinas/jbastos/Rveiga2CONF-UA-RV.pdf>>. Acesso em 10 fev. 2016.

VEIGA, M. do R. Comportamento de Rebocos para Edifícios Antigos: Exigências Gerais e Requisitos Específicos para Edifícios Antigos. In: SEMINÁRIO SAIS SOLÚVEIS EM ARGAMASSAS DE EDIFÍCIOS ANTIGOS. 2005, Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa: LNEC, 2005. Não paginado. Disponível em: <<http://mestrado-reabilitacao.fa.utl.pt/disciplinas/jbastos/Rveiga9-Sais%20soluveis.pdf>>. Acesso em 20 mai. 2016.

VEIGA, M. R. Alvenaria de Edifícios Históricos: Intervenções Sustentáveis com Materiais Compatíveis. In: VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL, 6, 2010, Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa: LNEC, 2011. Não paginado. Disponível em: <<http://www.necue.uevora.pt/Documentos/VI-ENEEC/ENEEC%20reabilita%C3%A7%C3%A3o/RV-NEECUE.pdf>>. Acesso em 15 fev. 2016.

VELOSA, A. L. P. L., VEIGA, M. do R., ROCHA, F. Utilização de Metacaulim em Argamassas para Conservação de Edifícios. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. 8, 2011, Paraná, Brasil. **Anais...** GT Argamassas: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ANTAC, 2016, 10 p. Disponível em: <<http://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/403-utilizacao-de-metacaulim-em-argamassas-para-conservacao-de-edificios>>. Acesso em: 09 mai. 2016.

WANDERLEY, I. M. **Azulejo na Arquitetura Brasileira**: Os painéis de Athos Bulcão. 2006. 160 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-10112006-142246/pt-br.php>>. Acesso em: 11 fev. 2016.

**ANEXO – Pesquisa para avaliação da conduta dos profissionais da área de
construção civil frente à obra de restauração**

Restauração de Fachada Azulejada

Pesquisa para avaliação da conduta dos profissionais da área de construção civil frente a obra de restauração.

1. Qual é a sua área de atuação? *

- Engenharia Civil
- Arquitetura e Urbanismo

2. Qual é o seu nível de escolaridade? *

- 3º Grau Completo
- 3º Grau Incompleto

Instrução:

Marque apenas uma das três alternativas abaixo, tendo em mente que o que está sendo avaliado não é se a resposta é certa ou errada, mas apenas o posicionamento de cada um a respeito da seguinte situação hipotética:

Casarão do século XIX situado em São Luís no Maranhão.



Importância do uso de argamassas de cal na restauração de fachadas compostas por azulejos fabricados no final do século XIX e início do século XX.

3. **Você foi contratado para intervir especificamente na restauração da fachada azulejada do imóvel da figura acima. Será necessário recuperar a base da fachada e reassentar azulejos produzidos como réplicas dos faltantes. Como você procederia? ***

Pesquisaria sobre a composição e o traço da argamassa de assentamento utilizada na época da construção do imóvel e empregaria, durante o processo de intervenção, exatamente a mesma composição, afinal de contas, mesmo não mantendo os azulejos aderidos por muito tempo, em uma restauração não posso utilizar materiais diferentes dos que já existiam no prédio.

A partir da pesquisa sobre a composição da argamassa de assentamento empregada originalmente no imóvel, proporia a adição de novos produtos e traços a essa mistura, desde que comprovadamente, respeitasse a trabalhabilidade existente entre os materiais constituintes, pois mesmo em uma obra de restauração, nada me impede de utilizar conhecimentos e avanços tecnológicos atuais na área de materiais de construção.

A fim de manter por muito mais tempo a integridade do imóvel a ser restaurado, utilizaria o que há de melhor no mercado com relação a assentamento de azulejos em fachadas, ou seja, argamassa colante a base de cimento e rejunte epóxi, pois toda a tecnologia empregada na pesquisa e produção desses produtos são garantias de uma boa escolha, não só para obras atuais como também para as antigas.