



Universidades Lusíada

Santos, Alexandre Miguel Parreira dos, 1980-

A cal e suas aplicações na construção

<http://hdl.handle.net/11067/4308>

Metadados

Data de Publicação	2011
Resumo	Esta dissertação tem como principal objectivo compreender a versatilidade da cal como material de construção, evidenciando as suas potencialidades como ligante em argamassas e no revestimento de paramentos. A cal continua a ser um elemento que, mesmo tendo sido utilizado desde à séculos mantém características que fazem dela um recurso viável para a construção e recuperação de edifícios. As argamassas são produtos de construção muito antigos, ultrapassados apenas pela madeira, pedra e lama. A arg...
Palavras Chave	Cal, Materiais de construção
Tipo	masterThesis
Revisão de Pares	Não
Coleções	[ULL-FAA] Dissertações

Esta página foi gerada automaticamente em 2025-05-17T10:23:25Z com informação proveniente do Repositório



UNIVERSIDADE LUSÍADA DE LISBOA

Faculdade de Arquitectura e Artes

Mestrado Integrado em Arquitectura

A cal e suas aplicações na construção

Realizado por:

Alexandre Miguel Parreira dos Santos

Orientado por:

Prof. Doutor Arqt. Nuno Rui da Fonseca Santos Pinheiro

Constituição do Júri:

Presidente:	Prof. Doutor Arqt. Joaquim José Ferrão de Oliveira Braizinha
Orientador:	Prof. Doutor Arqt. Nuno Rui da Fonseca Santos Pinheiro
Assistente de orientação:	Mestre Arqt. ^a Maria de Fátima Lino Ferreira Fragoso
Arguente:	Prof. Doutor Horácio Manuel Pereira Bonifácio

Dissertação aprovada em: 9 de Fevereiro de 2012

Lisboa

2011



UNIVERSIDADE LUSÍADA DE LISBOA

Faculdade de Arquitectura e Artes

Mestrado Integrado em Arquitectura

A cal e suas aplicações na construção

Alexandre Miguel Parreira dos Santos

Lisboa

Novembro 2011

Alexandre Miguel Parreira dos Santos

A cal e suas aplicações na construção

Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitectura e Artes da Universidade Lusíada de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Arquitectura.

Orientador: Prof. Doutor Arqt. Nuno Rui da Fonseca Santos Pinheiro

Assistente de orientação: Mestre Arqt.^a Maria de Fátima Lino Ferreira Fragoso

Lisboa

Novembro 2011

Ficha Técnica

Autor Alexandre Miguel Parreira dos Santos
Orientador Prof. Doutor Arqt. Nuno Rui da Fonseca Santos Pinheiro
Assistente de orientação Mestre Arqt.^a Maria de Fátima Lino Ferreira Fragoso
Título A cal e suas aplicações na construção
Local Lisboa
Ano 2011

Mediateca da Universidade Lusíada de Lisboa - Catalogação na Publicação

SANTOS, Alexandre Miguel Parreira dos, 1980-

A cal e suas aplicações na construção / Alexandre Miguel Parreira dos Santos ; orientado por Nuno Rui da Fonseca Santos Pinheiro, Maria de Fátima Lino Ferreira Fragoso. - Lisboa : [s.n.], 2011. - Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitectura, Faculdade de Arquitectura e Artes da Universidade Lusíada de Lisboa.

I - PINHEIRO, Nuno Rui da Fonseca Santos, 1937-

II - FRAGOSO, Maria de Fátima Lino Ferreira, 1967-

LCSH

1. Cal
2. Materiais de Construção
3. Universidade Lusíada de Lisboa. Faculdade de Arquitectura e Artes - Teses
4. Teses – Portugal - Lisboa

1. Lime

2. Building Materials
3. Universidade Lusíada de Lisboa. Faculdade de Arquitectura e Artes - Dissertations
4. Dissertations, Academic – Portugal - Lisbon

LCC

1. TA434.S26 2011

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus orientadores, Prof. Doutor Arqt. Nuno Santos Pinheiro e Prof. Fátima Lino, por todos os conhecimentos, orientação e paciência.

Dirijo um especial agradecimento ao Eng. Fernando Cartaxo, pela sua disponibilidade em esclarecer dúvidas relativas ao processo de fabrico da cal.

Os meus mais sinceros agradecimentos às funcionárias das bibliotecas do LNEC e do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do IST.

Foram várias as pessoas que me ajudaram na concretização deste trabalho às quais agradeço imenso, nomeadamente:

Liliana Alves, pelo seu incondicional acompanhamento.

Pais, avó, irmã e cunhado pela força.

APRESENTAÇÃO

A cal e suas aplicações na construção

Alexandre Miguel Parreira dos Santos

Esta dissertação tem como principal objectivo compreender a versatilidade da cal como material de construção, evidenciando as suas potencialidades como ligante em argamassas e no revestimento de paramentos. A cal continua a ser um elemento que, mesmo tendo sido utilizado desde à séculos mantém características que fazem dela um recurso viável para a construção e recuperação de edifícios. As argamassas são produtos de construção muito antigos, ultrapassados apenas pela madeira, pedra e lama. A argamassa de cal é polivalente, uma vez que tanto pode ser aplicada como argamassa de cal aérea ou como argamassa de cal hidráulica. Tendo em linha de contas as vantagens/versatilidade da cal é de todo pertinente que se mantenham vivos os saberes ancestrais relativos a este material. A nível estético, nada se compara à textura, brilho e cor de uma superfície rebocada e caiada a cal. A caiação, no seu branco imaculado, ou nas diferentes possibilidades de conjugação de cores atribui ao paramento de um edifício uma textura que não se consegue com uma pintura utilizando as tintas industriais. Torna-se portanto fulcral para a Arquitectura, uma área em constante desenvolvimento o acompanhamento destas questões.

Palavras-chave: Cal aérea, Cal hidráulica, Argamassa de cal, Caiação.

PRESENTATION

The chalk and its uses on building

Alexandre Miguel Parreira dos Santos

This dissertation has in his main objective understand the versatility of chalk as a building material putting in evidence its best potential as interconnect in mortar or in the vestments coating. The chalk is an element that despite of being used since centuries still maintain its features which make it a viable and sustainable resource to build and repair buildings. Mortars are very old building products overpassed only by wood by rock and by mud. The chalk mortar has many possible uses since that it may be applied both as air chalk mortar or hydraulic chalk mortar. Measuring advantages and versatility of chalk it is important retain alive the ancestors knowledge related to it. At aesthetic level nothing compares to the texture the brightness and color of a surface towed and whitewashed with chalk. The whitewash in its immaculate whiteness or in the many possibilities of color mixing gives to the vestment of a building one texture not possible to reproduce with a painting done with industrial paints. It is therefore crucial that for an area like Architecture which is constantly in development to be following this matter.

Keywords: Aereal chalk, Hydraulic chalk, Chalk mortar, Whitewash.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 – Igreja matriz de Mértola, século XII/XIII. (Ilustração nossa 2010)	26
Ilustração 2 – Cisterna do século XI/XII, Castelo de Aljezur. (Ilustração nossa 2011)	26
Ilustração 3 – O Ciclo da Cal. (Serra, 2011)	29
Ilustração 4 – Ermida de Santo André, Beja. (Ilustração nossa 2010)	36
Ilustração 5 – Igreja Matriz de Pedrógão Grande. (Ilustração nossa 2010).....	36
Ilustração 6 – Grãos de pozolanas. (Guimarães, 2009, p. 75)	42
Ilustração 7 – Secção de um forno de cal de campanha. Técnicas tradicionais de construção de alvenarias. (Mateus, 2002, p. 181)	50
Ilustração 8 – Secção de um forno de cal fixo tradicional. Técnicas tradicionais de construção de alvenarias. (Mateus, 2002, p. 181)	50
Ilustração 9 – Forno misto de calcinação contínua. Técnicas tradicionais de construção de alvenarias. (Mateus, 2002, p. 182)	51
Ilustração 10 – Generosa parede exterior. Palácio de Alhambra, Granada (Ilustração nossa 2010)	59
Ilustração 11 – Visível robustez da parede exterior. Évora. (Ilustração nossa 2010)	60
Ilustração 12 – Modelo e comportamento de parede de alvenaria, em relação à humidade. Reabilitação de edifícios antigos (Appleton, 2003, p. 20).....	60
Ilustração 13 – Reboco exterior, Córdoba. (Ilustração nossa 2010).....	61
Ilustração 14 – Manteigas, Serra da Estrela. (Ilustração nossa 2011)	62
Ilustração 15 – Castelo de Mourão. (Ilustração nossa 2010).....	62
Ilustração 16 – Paramento com reboco danificado, Castro Marim. (Ilustração nossa 2011).....	63
Ilustração 17 – Destacamento do reboco, Coja. (Ilustração nossa 2010)	64
Ilustração 18 – Parede divisória de madeira e tijolo. Mosteiro de Tibães, Braga. (Ilustração nossa 2010)	67
Ilustração 19 – Parede divisória de madeira e cana, Tavira. (Ilustração nossa 2009)	67
Ilustração 20 – Reboco destacado do suporte, Castro Marim. (Ilustração nossa 2011)	72

Ilustração 21 – Revestimento desadequado em edifício, Manteigas. (Ilustração nossa 2011).....	72
Ilustração 22 – Paredes exteriores com elevado nível de degradação, Tavira. (Ilustração nossa 2010).....	77
Ilustração 23 – Paramento sem exposição solar directa em ambiente húmido, Monte, Ilha da Madeira. (Ilustração nossa 2011).....	78
Ilustração 24 – Incompatibilidade entre o material de suporte e revestimento agrava o aparecimento de patologias, Porto da Cruz, Ilha da Madeira. (Ilustração nossa 2011).....	79
Ilustração 25 – Reboco com falta de manutenção, Castro Marim. (Ilustração nossa 2011)	80
Ilustração 26 – Estrutura de madeira de uma parede de tabique. Reabilitação de edifícios. (Appleton, 2003, p. 32)	81
Ilustração 27 – Tabique de madeira com revestimento sobre fasquiado, Reabilitação de edifícios. (Appleton, 2003, p. 55).....	82
Ilustração 28 – Sistema tradicional de taipais para compactação de bloco de taipa. Caracterização de revestimentos usados em construções de taipa no barlavento algarvio. (Mateus, 2006, p. 17).....	83
Ilustração 29 – Sistema típico de ligação da parede de taipa ao solo de fundação. Caracterização de revestimentos usados em construções de taipa no barlavento algarvio. (Mateus, 2006, p. 16).....	83
Ilustração 30 – Blocos de adobe com adição de palha. (Miguel, 2008, p. 7)	88
Ilustração 31 – Blocos de adobe a secar. (Miguel, 2008, p. 8).....	88
Ilustração 32 – Edifícios construídos em adobe. (Guimarães, 2009, p. 33)	89
Ilustração 33 – Parede de adobe, Mourão. (Ilustração nossa, 2010).....	89
Ilustração 34 – Vista sobre Sanlucar de Guadiana. (Ilustração nossa 2010).....	91
Ilustração 35 – Farol da Ponta do Pargo, Ilha da Madeira. (Ilustração nossa 2011)	92
Ilustração 36 – Textura da caiação, Ponta do Pargo. (Ilustração nossa 2011)	94
Ilustração 37 – Acabamento em tons de amarelo, Beja. (Ilustração nossa 2010)	94
Ilustração 38 – Acabamento simples com faixas azuis, Piodão. (Ilustração nossa 2010)	94
Ilustração 39 – Acabamento rosa velho a necessitar de manutenção, Tavira. (Ilustração nossa 2011).....	95

Ilustração 40 – Acabamento em amarelo e contornos cinza, Tavira. (Ilustração nossa 2010).....	95
Ilustração 41 – Acabamento em branco e contornos em amarelo, Évora. (Ilustração nossa, 2010)	96
Ilustração 42 – Acabamento em branco e contornos em azul, Mourão. (Ilustração nossa 2009)	96
Ilustração 43 – Acabamento com faixas verticais amarelas e azuis, Tavira. (Ilustração nossa 2010)	97
Ilustração 44 – Acabamento em branco e contornos em creme, Luz de Tavira. (Ilustração nossa 2011)	97
Ilustração 45 – Textura da aplicação de várias demão, Sesimbra. (Ilustração nossa 2010).....	104
Ilustração 46 – Paramento de grandes dimensões, Montemor-o-Novo. (Ilustração nossa 2010)	104
Ilustração 47 – Camadas de caição danificada, Sesimbra. (Ilustração nossa 2010)	108
Ilustração 48 – Camada de sacrifício completamente danificada, Castro Marim. (Ilustração nossa 2010)	108
Ilustração 49 – Pintura aplicada com incidência solar directa, Luz de Tavira. (Ilustração nossa 2011)	109
Ilustração 50 – Descoloração dos pigmentos, Tavira. (Ilustração nossa 2010).....	109
Ilustração 51 – Retoque com pigmento diferente, Montemor-o-Novo. (Ilustração nossa 2010)	110
Ilustração 52 – Retoque com pigmento diferente, Monte, Ilha da Madeira. (Ilustração nossa 2010)	110
Ilustração 53 – Manchas nos paramentos, Tavira. (Ilustração nossa 2009).....	110
Ilustração 54 – Chaminé com falta de manutenção, Mourão. (Ilustração nossa 2010)	111
Ilustração 55 – Manchas e falta de manutenção, Tavira. (Ilustração nossa 2010)	111
Ilustração 56 – Destacamento da pintura, Monte. (Ilustração nossa 2011).....	111
Ilustração 57 – Destacamento da pintura, Tavira. (Ilustração nossa 2011).....	112
Ilustração 58 – Igreja San Ildefonso, Sevilha. (Ilustração nossa 2011)	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Argamassas com cais aéreas para o assentamento de blocos de pedra e tijolo	35
Tabela 2 – Argamassas de assentamento com cais hidráulicas em pó	39
Tabela 3 – Argamassas à base de pozolana e de trass para assentamento	41
Tabela 4 – Argamassas à base de tijolo pilado	44

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

CO ₂	-	Dióxido de carbono
CO ₃ Ca	-	Carbonato de cálcio (Cal carbonatada)
Ca(OH) ₂	-	Hidróxido de cálcio (Cal hidratada ou cal apagada)
SiO ₂	-	Óxido de silício
Al ₂ O ₃	-	Óxido de alumínio
CaO	-	Óxido de cálcio (Cal viva)
MgO	-	Óxido de magnésio
SO ₃	-	Trióxido de enxofre
CSH	-	<i>Calcium Silicate Hydrates</i> (Hidratos de Silicato de Cálcio)
Séc.	-	Século
BTC	-	Blocos de terra comprimidos

SUMÁRIO

1. Introdução.....	23
2. Enquadramento histórico.....	25
3. Tipos de cal.....	29
3.1. Classificação da cal consoante o tipo de pedra.....	30
3.2. Cal aérea	32
3.2.1. Processo de fabrico	33
3.2.2. Cal aérea em pasta e em pó.....	34
3.2.3. Aplicações práticas	36
3.2.3.1. Estabilização dos solos.....	37
3.2.4. Qualidades	37
3.2.5. Estabilidade volúmica	38
3.3. Cal hidráulica	38
3.3.1. Presa hidráulica	39
3.3.2. Cais hidráulicas artificiais e cimentos	40
4. Pozolanas	41
4.1. Pozolanas naturais	42
4.2. Pozolanas artificiais ou materiais cerâmicos pulverizados	44
4.3. Armazenamento e conservação de cais, pozolanas e tijolos pilados.....	45
5. Processos e temperaturas de cozedura	49
5.1. Fornos de cozedura a lenha	50
5.2. Tempos de cozedura	52
6. Critérios actuais de qualidade e normas de produção.....	55
7. Revestimentos de paredes com argamassas de cal	57
7.1. Paredes exteriores.....	58
7.1.1. Reboco exterior.....	62
7.2. Paredes interiores.....	67
7.2.1. Reboco interior.....	68
8. Argamassas e betões	69
8.1. Agregados.....	69
8.1.1. Areia.....	70
8.1.2. Britas.....	71
8.1.3. Água.....	71
8.2. Caracterização das argamassas antigas.....	71
8.3. Aplicação das argamassas	73
8.4. Argamassas de restauro à base de cal	75
9. Características das argamassas.....	77

9.1. Porosidade, capilaridade e impermeabilização ao vapor	77
9.2. Resistência à acção de sais solúveis	77
9.3. Retenção de água.....	78
9.4. Retracção.....	78
9.5. Durabilidade dos revestimentos.....	79
10. Execução e revestimento de paramentos com argamassas de cal	81
10.1. Tabique.....	81
10.1.1. Reboco em fasquiado de madeira.....	81
10.2. Taipa.....	82
10.2.1. Revestimento exterior em paredes de taipa.....	85
10.3. Adobe	87
10.3.1. Revestimento em paredes de adobe.....	90
11. Revestimento de paredes com cal	91
11.1. Revestimentos por pintura.....	92
11.1.1. Primários.....	93
11.1.2. Pigmentos.....	93
11.1.3. Acabamentos e texturas	93
12. Adições na caiação	99
12.1. Adições tradicionais.....	99
12.2. Adições tradicionais aplicadas no presente	99
13. Características do suporte.....	101
13.1. Porosidade do suporte	101
13.2. Características higroscópicas.....	101
13.3. Capilaridade	102
13.4. Influência dos revestimentos na secagem	102
14. Pintura com cal.....	103
14.1. Caiação	103
14.2. Aplicação actual das caiação	103
14.3. Tipo de cal para caiação	104
14.4. Preparação do leite de cal.....	105
14.4.1. Aplicação do leite de cal.....	106
14.5. Preparação do suporte	107
14.6. Condições ambientais	107
14.7. Manutenção da pintura com cal	108
14.8. Condicionantes da cal aérea hidratada em pó	112
15. Barramento de pasta e cal	113
16. Conclusão.....	115

Referências bibliográficas	119
Bibliografia.....	121

1. INTRODUÇÃO

A cal é um produto de aplicação milenar nas argamassas, são exemplo disso grandes obras que formam o património da nossa humanidade/sociedade portuguesa. Encontram-se espalhados pelo nosso país, testemunhos arquitectónicos comprovando a insuperável durabilidade dos revestimentos feitos em argamassas à base de cal e areia.

Até à descoberta do cimento no século XIX, a cal, (tanto aérea como hidráulica) terá sido o ligante preferencialmente utilizado, tendo impresso um cunho muito importante e ainda patente em muitas construções antigas. Com o aparecimento deste novo ligante de grande facilidade de secagem e endurecimento, a utilização da cal, caiu francamente em declínio. Sendo apenas, utilizada hoje em dia em casos pontuais de reabilitação ou para uso próprio daqueles que ainda conservam os saberes de outras gerações. Em concomitância, o uso da cal está patente, por exemplo, no fabrico de blocos sílico-calcários, misturada com gesso, no fabrico de estuques, misturada com pozolanas dando origem a ligantes hidráulicos, misturada com cimento ou cal hidráulica em argamassas para reboco e também sob a forma de leitada na caiação de paramentos.

A capacidade versátil da cal foi desde sempre usada pelo Homem. Mais conhecida pelas suas aplicações na construção civil, ela é também indispensável em vários processos ligados à indústria, nomeadamente, siderúrgica, alimentar, agrícola, fabricação de papel, tratamento de águas, entre outros.

É intenção deste trabalho apresentar todo o potencial que emerge da utilização da cal na construção, assim como, perceber de que forma a cal pode ser o material de eleição para a reabilitação de edifícios, incrementando o uso da cal como ligante de argamassas e elemento de acabamento de paredes.

Os objectivos deste trabalho pautam-se essencialmente por compreender a utilização da cal na construção e recuperação de edifícios. Este trabalho divide-se em três capítulos, os quais estão divididos em vários pontos com o intuito de facilitar a pesquisa dos vários temas. A temática de cada capítulo será apresentada nos próximos parágrafos.

O primeiro capítulo aborda a problemática da cal, havendo uma pesquisa bibliográfica acerca dos diferentes tipos de cal, processos de fabrico e aplicações práticas. É também mencionada uma breve abordagem às pozolanas, armazenamento e conservação de cais. A terminar este capítulo são abordados os processos e temperaturas de cozedura, bem como os critérios de qualidade e normas de produção da cal.

O segundo capítulo abrange a cal como ligante em argamassas, dependendo do uso e função do edifício, da materialidade do suporte e qual deve ser o traço da argamassa ajustando-o mediante o comportamento do próprio suporte. De modo, a garantir coesão entre suporte e reboco a nível funcional e mecânico.

O terceiro capítulo descreve a cal como acabamento de paredes, através da pintura com cal e uma pequena abordagem ao barramento de paredes.

Para finalizar, a conclusão, onde são aglomeradas as ideias principais deste trabalho.

2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

A utilização da cal remonta desde os primórdios da nossa civilização. É notório por toda a costa Mediterrânica, os vestígios da utilização da cal, conhece-se por exemplo um terraço na Turquia com a data de construção compreendida entre 12000 e 5000 anos a. C., o qual foi construído numa argamassa de cal. Os Gregos¹ foram provavelmente o primeiro povo a utilizar a cal como revestimento de paredes. Seguidamente os Etruscos, deixaram vestígios de utilização de cal na construção de túmulos e cisternas. No Império Romano² através da adição de areias, utilizavam também a cal na construção, nomeadamente para edificação de grandes construções que empreenderam por todo o seu Império, expandiram e aperfeiçoaram as argamassas de cal³, no sentido de as tornarem mais eficientes e desenvolvendo a sua utilização. Alguma documentação escrita dessa época ficou registada, destacando-se a obra que nos dias de hoje ainda é muito citada, traduzida e adaptada em novas edições, Vitruvius, contemporâneo de Júlio César (Veiga, 2003, p. 22).

É visível a qualidade e inquestionável durabilidade das argamassas do período Romano, testemunhados por diversas construções ainda existentes, em que as argamassas de revestimento e de juntas resistiram a milénios de agressões, preservando-se em boas condições até à actualidade. Em Portugal têm sido alvo de estudo, entre outras, as argamassas romanas de Conímbriga, Tróia, S. Cucufate e Mértola.

Apesar de séculos de uso e de exposição a condições ambientais adversas, estas argamassas e betões sobreviveram melhor que a pedra natural e o tijolo cozido encontrados nas mesmas estruturas e muitas vezes mesmo melhor que os betões modernos expostos a condições idênticas. (Malinowski apud Veiga, 2003, p. 22)

Na Península Ibérica os Árabes também adoptaram a cal nas suas construções, e em particular, em Portugal ainda é possível verificar vestígios bem conservados dessas argamassas constituídas por cal. Exemplo disso, a muralha do séc. VII da cidade de Tavira e em Mértola a antiga mesquita, a actual Igreja Matriz de Mértola (Veiga, 2003, p. 22 -23). Por toda a Europa a maioria das argamassas antigas existentes são constituídas por cal aérea⁴, que pela sua maior durabilidade e resistência conseguiram chegar até nós desde a época romana. Esta conseqüente capacidade de

¹ Século VII a.C. a V a.C.

² Século III a. C. a V d.C.

³ Ver ponto 8, pág. 69 desta dissertação.

⁴ Ver ponto 3.2, pág. 32 desta dissertação.

sobrevivência levanta inúmeras questões sobre as razões pelas quais algumas destas argamassas gregas, romanas e árabes apresentam grande resistência às acções climáticas e uma impressionante durabilidade.



Ilustração 1 - Igreja Matriz de Mértola, século XII/XIII. (Ilustração nossa 2010)

É sabido que o povo Grego, Romano e Árabe, adicionavam matéria constituinte com características pozolanicas⁵, que certamente contribuíram de modo decisivo para a grande durabilidade e resistência (Veiga, 2003, p. 23). “O betão romano é a invenção mais notável da história da engenharia.” (Lamprecht apud Veiga, 2003, p. 22).

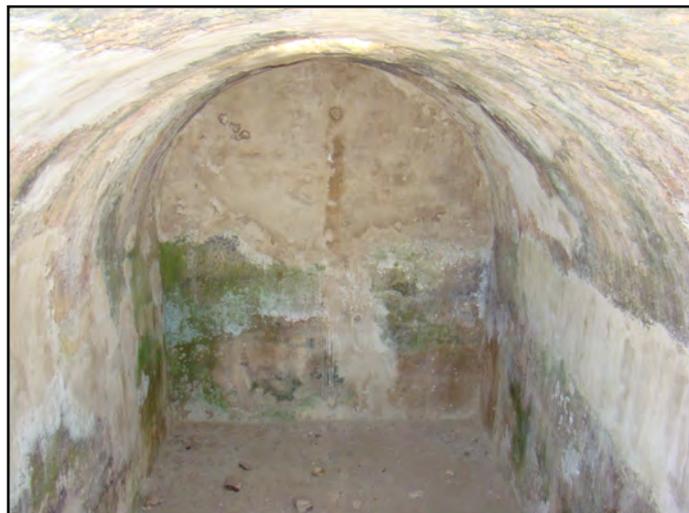


Ilustração 2 – Cisterna do século XI/XII, Castelo de Aljezur. (Ilustração nossa, 2011)

⁵ Ver ponto 4, pág. 41 desta dissertação.

Em pleno século XVIII, aquando do assentamento do farol de Eddystone⁶ descobriu-se que juntamente com os calcários adicionados de argila obtinham-se, por cozedura, as denominadas cais hidráulicas, ou seja cais que também fazem presa de submersas em água. No século XIX, Vicat definiu a teoria da hidraulicidade.

Portanto, temos dois tipos de cal: a cal aérea, que faz presa ao ar e a cal hidráulica⁷ que faz presa debaixo de água.

Aperfeiçoamentos sucessivos, com base na investigação científica, conduziram ao fabrico de cimentos Portland, relegando para segundo plano a cal hidráulica (Portugal, 1985, p. 211).

⁶ Eng. Smeaton no ano de 1756, Reino Unido

⁷ Ver ponto 3.3, pág. 38 desta dissertação.

3. TIPOS DE CAL

Como já referido anteriormente, e de adordo com os testemunhos arquitectónicos existentes, a cal é um dos aglomerantes mais antigos utilizados na construção por diferentes povos, nomeadamente os Gregos e Romanos. A cal é um produto resultante da calcinação de rochas calcárias, em fornos⁸ especiais com temperaturas entre 900 e 1100°C. A cal pode ser classificada em cal aérea e cal hidráulica, conforme o processo de endurecimento das argamassas. A cal aérea é a cal mais comum encontrada no mercado, endurece em contacto com o ar por recarbonatação dos óxidos, ao absorver CO₂. A cal hidráulica é um produto intermediário entre a cal aérea e o cimento, visto que o endurecimento tanto pode ocorrer pelo contacto com a água, como pelo contacto com o ar. Pode ser natural, quando proveniente da calcinação de rochas calcárias argilosas ou silicosas, ou artificial pela mistura de determinados tipos de cinza mineral (Ilustração 3).



Ilustração 3 – O Ciclo da Cal. (Serra, 2011)

⁸ Ver ponto 5.1, pág. 50 desta dissertação.

3.1. CLASSIFICAÇÃO DA CAL CONSOANTE O TIPO DE PEDRA

De forma consciente ou inconsciente, o Homem sempre produziu cais que podiam fazer presa debaixo de água ou em contacto com o ar. A distinção entre elas, cais aéreas ou hidráulicas, era feita empiricamente e sempre foram utilizadas cais diversas, em função dos diferentes fins a que se destinavam.

A influência da qualidade das pedras calcárias, assim como os cuidados a ter na sua selecção, eram já reconhecidos pela maioria dos estudiosos da matéria. Para esse efeito baseavam-se em análises empíricas, práticas ancestrais, em experiências obtidas em obra e na observação de vários casos. Foram os conhecimentos derivados da Química, que permitiram classificar cientificamente as diferentes qualidades de pedras calcárias e a sua influência na qualidade do produto final da cozedura.

Até ao culminar do século XVIII, as pedras calcárias mais utilizadas e recomendadas eram aquelas que detinham algumas características, nomeadamente a maior densidade e peso, a maior fineza do grão, a homogeneidade, as mais compactas e livres de impurezas. Daí que as cais produzidas a partir de mármore ou calcários muito compactos e cristalinos eram consideradas as ideais. Por outro lado, os calcários de cor cinzenta eram canalizados para as obras hidráulicas e as cais produzidas a partir de pedras porosas eram indicadas para utilizar nos rebocos.

As qualidades e desvantagens dos diferentes tipos de pedras calcárias e conseqüentemente os diferentes tipos de cais, surgiam então, dependendo da zona geográfica em que se encontravam.

Os primeiros estudos sistematizados acerca da selecção das pedras calcárias para a produção de cal em função das condições de presa, surge na segunda metade do século XVIII, sendo os estudos realizados por Vicat pioneiros na classificação da capacidade de presa. Foi nesta época que surgiu a distinção química entre cal aérea e cal hidráulica. Esta diferença na compreensão química destas duas cais foi a génese para o aparecimento de uma nova indústria de grande impacto económico (Mateus, 2002, p. 175).

Este autor veio acrescentar que, é fulcral ter em linha de conta, não só o controlo da qualidade da cal que uma determinada pedra calcária é capaz de produzir, mas também o tipo de cal que é possível obter a partir de uma determinada mistura de

pedras calcárias. Estes estudos permitiram então ter uma base científica para a distinção dos calcários e das cais⁹, sendo que esta classificação era baseada na análise da percentagem de sílica e alumina e no tempo de presa. A partir desta classificação formaram-se 10 grandes grupos:

- cais aéreas gordas,
- cais aéreas magras,
- cais medianamente hidráulicas,
- cais hidráulicas,
- cais eminentemente hidráulicas,
- cais limites,
- cimentos limites inferiores,
- cimentos ordinários,
- cimentos limites superiores,
- pozolanas.

Esta classificação foi publicada na segunda metade do século XIX, no entanto e com algumas modificações que vieram a realizar-se ao longo dos anos continua bastante actual.

A abordagem de Vicat permitiu, através da compreensão dos fenómenos químicos, conhecer-se a qualidade das argamassas que eram utilizadas na antiguidade, relativamente à sua composição e durabilidade.

As cais aéreas poderão então passar a ser produzidas consoante as características químicas dos calcários utilizados. Antigamente a denominação das cais gordas referia-se aquelas que davam origem a uma pasta untosa quando misturadas com água, havendo grande produção de calor, por outro lado a cal magra teria características opostas.

Foi a partir do século XIX que estas duas cais passaram a ter processos de fabricação diferentes.

No caso das cais magras, estas deveriam ser produzidas a partir de calcários que na sua calcinação teriam de conter entre 70 e 90% de carbonato de cálcio e 10 a 30% de carbonatos de ferro ou magnésio, misturados ou não com silício no estado de areia.

⁹ Produtos da sua calcinação.

Após este processo de calcinação estas cais deveriam absorver 1,25 a 2 vezes do seu peso em água. Pelo contrário a cal gorda, deveria ser produzida a partir de calcários puros¹⁰ ou de calcários quase puros¹¹. No produto final de calcinação deveriam absorver 3,25 a 3,50 vezes o seu peso em água (Mateus, 2002, p. 176).

Todos estes testes efectuados com a cal foram progressivamente melhorados, sendo que no final do século XIX começou a ter-se em atenção a quantidade e composição do resíduo insolúvel resultante da carbonização ou calcinação .

Surge então outro tipo de classificação das cais consoante a observação do resíduo insolúvel:

- resíduo nulo ou com pouca argila, considerava-se uma cal aérea gorda pura ou quase pura,
- resíduo constituído por areia muito fina, obtinha-se uma cal magra e não hidráulica,
- composto de sílica gelatinosa produzia-se cais hidráulicas,
- composto essencialmente por argila previa-se uma cal hidráulica ou um cimento.

Portugal em 1867, começa a importar sobretudo da Inglaterra os primeiros cimentos e cais hidráulicas. As cais hidráulicas do Cabo Mondego foram utilizadas com fabricação artesanal na construção do forte de Buarcos no século XVII e posteriormente com fabricação industrial. A partir de 1879, na construção de importantes obras públicas como o túnel ferroviário do Rossio e as linhas de caminho de ferro da Beira Baixa, bem como as fundações das pontes de Ílhavo, Mogofores, Lares e o Coliseu dos Recreios de Lisboa (Mateus, 2002, p. 177).

3.2. CAL AÉREA

Como matéria prima temos só calcários ou seja as rochas que quimicamente tenham como componente fundamental a calcite.

O calcário é um tipo de rocha que podemos encontrar na Natureza, cuja constituição mineralógica, quando pura tem 99% de cálcio, é carbonato de cálcio. Ao calcinarmos o composto calcário, aquecendo-o a 900°C, o carbonato de cálcio liberta anidrido de carbono e transforma-se em óxido de cálcio, designada por cal viva ou aérea.

¹⁰ Compostos somente com carbonato de cálcio.

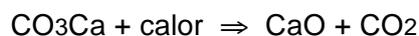
¹¹ Constituídos apenas por 1 a 6% de silício, magnésio, ferro e alumínio.

Dependendo do grau de pureza das pedras calcárias, podemos obter dois tipos distintos de cal aérea. No caso de calcinarmos um composto mais puro iremos atingir uma cal gorda, que se apresentará após a hidratação, em pasta sendo excelente para todo o tipo de trabalhos, seja para pintura, estuque ou como ligante. No entanto se calcinarmos um calcário com cerca de 5% de impurezas, estaremos a produzir uma cal magra, que por sua vez se apresentará depois de hidratada, em pó originando uma cal de qualidade inferior (Portugal, 1985, p. 211-212).

Estas cals não gozam de propriedades hidráulicas o que significa que não fazem presa debaixo de água. Apresentando-se em duas composições diferentes: a cal viva e cal apagada ou extinta.

3.2.1. PROCESSO DE FABRICO

A calcinação do calcário efectua-se em fornos, inicialmente mais primitivos, colocando camadas alternadas de composto calcário e lenha, e mais tarde em fornos próprios da industrialização do sistema. A 900°C dá-se a reacção assim esquematizada:



O óxido de cálcio assim obtido, ou seja a já referida cal viva, é um produto sólido de cor branca. Comercialmente é disponibilizado em pedra ou moída, devendo sempre ser conservada em recipiente estanque ao oxigénio do ar, de modo a evitar a carbonatação. Trata-se de um produto cáustico, pelo que deve ser manuseado com extrema precaução, afim de evitar queimaduras. O óxido de calcário ou cal viva, na presença de água, transforma-se em cal apagada aumentando o seu volume entre 3 a 3,5 vezes, correspondendo à seguinte reacção:



Obtém-se um produto sólido amorfo e pulverulento.

Portanto, da cal viva resulta a cal apagada ou extinta pela a adição de água, dando-se a designação deste processo de extinção da cal viva, ficando desta forma apagada (Portugal, 1985, p. 212).

Porém, este processo poderá ser efectuado de diferentes métodos (Portugal, 1985, p. 213).

- Extinção espontânea - Este processo absorve o CO₂ existente na atmosfera. Porém, não se recomenda o seu emprego, não só por ser uma operação morosa mas também porque, dado que retém apenas a humidade do ar não extingue completamente a cal viva.

- Extinção por imersão - Inicia-se este processo fragmentando os blocos de cal viva. Colocam-se depois em cestos e mergulha-se em água, sendo um dos métodos mais utilizados.

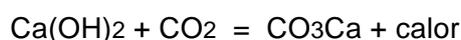
- Extinção em autoclaves - Este método é o mais adoptado nos E.U.A., garantindo a melhor extinção em produtos de melhor qualidade, dá-se uma extinção completa. Contudo é um método bastante dispendioso.

- Extinção por aspersão - Consiste em regar a cal viva com 25 a 50% de água, cobrindo-se posteriormente a cal com areia. Este processo não consegue garantir uma extinção completa da cal.

- Extinção por fusão - Deposita-se a cal viva em tanques que sejam estanques ao ar. Este método é de todos os já referidos o que nos permite obter uma extinção mais eficiente, assim como um produto final de superior qualidade.

3.2.2. CAL AÉREA EM PASTA E EM PÓ

A cal aérea apagada assim obtida, está preparada para ser comercializada na forma de pó ou em pasta, dependendo da quantidade de água¹² que se utilizou na extinção. Se na extinção tivermos o controlo da água que utilizamos podemos obter uma cal de excelente qualidade, contendo moléculas lamelares que nos permitem um trabalho de qualidade superior e de bom comportamento mecânico. Ainda assim, esta cal em pasta irá evoluir e melhorar substancialmente com o passar dos anos, sendo necessário pelo menos três anos de repouso em tinas próprias para atingir uma boa qualidade. Tem a propriedade de ganhar presa lentamente ao ar. Esta presa ao ar deriva da evaporação da água da pasta e da carbonatação por absorção de anidrido carbónico do ar, formando de novo o carbonato de cálcio.



¹² Ver ponto 8.1.3, pág. 71 desta dissertação.

Trata-se de uma reacção lenta que se inicia 24 horas depois de amassada a pasta e termina cerca de seis meses depois. É esta mesma reacção que se dá nas argamassas em que o ligante é a cal aérea, que em contacto com o ar endurecem ao fixarem o anidrido de carbónico existente no ar (Portugal, 1985, p. 213).

Por outro lado, se durante a extinção perdermos o controle da água podemos obter uma cal morta, que para além de possuir moléculas prismáticas não tem utilidade, pois já fez presa.

Tabela 1 – Argamassas com cals aéreas para o assentamento de blocos de pedra e tijolo (partes em volume).

Cal aérea	Areia	Zona do edifício
1 de cal em pasta	2	
1 de cal em pasta	3 (de cava)	
1 de cal em pasta	2 (de rio)	
1 de cal em pasta	2 a 3	todas
1 de cal em pasta	2 a 3	em elevação
1 de cal em pasta	1 a 2	
1 de cal em pasta	2	
1 de cal em pasta	1,44	
1 de cal em pasta	1	
1 de cal em pasta	2	
1 de cal em pasta	1,5 a 3	todas
1 de cal em pasta	1,5 a 4	
1 de cal em pasta	1,5	
1 de cal em pasta extinta por aspersão	1,5 a 2	todas
1 de cal em pasta extinta por fusão	1 a 2	todas
1 de cal em pó extinta por imersão	2	todas
1 de cal em pasta	2 a 3	todas
1 de cal em pasta	2	
1 de cal em pasta	2,0-2,5	em elevação
1 de cal em pasta magra	3	fundações
1 de cal em pasta gorda	2,0-2,5	em elevação
1 de cal em pasta	1,5 a 4	várias
1 de cal em pasta	1,5-2	enchimento de tabiques
1 de cal em pasta	1	ench. de tabiques em tectos

Fonte: Mateus (2002, p. 207)

3.2.3. APLICAÇÕES PRÁTICAS

Para além do fabrico de argamassas de cal aérea, que já vêm da antiguidade, utiliza-se, através de suspensão em água de cal gorda o leite de cal. Podemos usá-lo na pintura¹³ dos paramentos das casas, remetendo-nos aos montes e povoações alentejanas, onde a sua brancura provém dos mais puros calcários que garantem uma cal extremamente branca.



Ilustração 4 – Ermida de Santo André, Beja. (Ilustração nossa 2010)



Ilustração 5 – Igreja Matriz de Pedrógão Grande. (Ilustração nossa, 2010)

¹³ Ver ponto 14, pág. 103 desta dissertação.

No acabamento de uma obra, tanto ao nível do revestimento de paredes e de tectos em estuque, é pertinente que o prazo de conclusão seja aceitável. Assim, ao invés de utilizarmos apenas cal aérea, adicionamos gesso. Este método permite uma argamassa de presa mais rápida que nos permitirá uma melhor trabalhabilidade. A mistura dos dois materiais têm maneabilidade, através da cal e resistências iniciais razoáveis devido ao gesso (Portugal, 1985, p. 213).

A cal serve não só para a construção mas também para muitas outras aplicações. Na agricultura a cal permite corrigir a acidez dos solos, tratamento de águas duras, na indústria para o fabrico de papel, vidro, alimentação, entre outras.

3.2.3.1. ESTABILIZAÇÃO DOS SOLOS

Frequentemente o excesso de água obriga à suspensão dos trabalhos em estaleiros e em operações de terraplanagem. A cal aérea, desconhecido para maioria das pessoas, tem capacidade de estabilizar os solos argilosos, quando estes se encontram saturados de água indo reagir com a argila dos solos. A mistura de cal com o solo argiloso, vai permitir controlar e reduzir a sua plasticidade. Este processo funciona permanentemente, podendo ser necessário em algumas situações um reforço posterior, garantindo um endurecimento mais eficaz. Se a humidade existente no solo, atingir valores considerados, podemos utilizar cal viva, esta irá absorver parte da água na sua extinção (Portugal, 1985, p. 225).

3.2.4. QUALIDADES

As principais qualidades que se exigem a uma cal, na construção civil, relaciona-se com a técnica de fabrico e com o tratamento posterior. A cal deverá ter uma cozedura de qualidade de modo a que não haja presença de material inerte. Com a finalidade de garantir estuques e argamassas de reboco sem defeitos, devido à expansão durante a hidratação, é conveniente que não existam grãos de óxido de cálcio por extinguir. É imprescindível que a cal se mantenha activa, isto é, que não tenha sofrido a carbonação posteriormente ao fabrico, o que vulgarmente acontece quando é armazenada ao ar livre.

Uma boa característica da pasta de cal aérea é a sua plasticidade, uma vez que permite facilmente ser aplicada num paramento estendendo-se facilmente. O rendimento de uma cal designa-se pela relação que existe entre o volume resultante

da pasta e o primitivo volume de cal viva. Se pensarmos numa cal gorda de qualidade, podemos atingir níveis de rendimento bastante interessantes, podendo atingir três vezes e meia. Por exemplo, se inicialmente tivermos cinquenta litros de cal viva obtêm-se cento e cinquenta litros de cal em pasta (Portugal, 1985, p. 214).

3.2.5. ESTABILIDADE VOLÚMICA

Verifica-se após a presa uma certa expansão que se deve atribuir à presença de cal viva que ao libertar-se aumenta o volume, ou então à presença de magnésio não hidratado. Durante o processo de presa e endurecimento da pasta de cal, existe uma retracção, devido à perda de água, podendo ser amenizada com a adição de areia (Portugal, 1985, p. 214).

3.3. CAL HIDRAÚLICA

São produtos obtidos através da cozedura, abaixo da temperatura de vitrificação de calcário contendo uma certa percentagem de argilas, que após a cozedura são extintos e reduzidos a pó. Assim, as rochas calcárias com elevado teor de argilas, as ditas magras constituem a matéria prima. Nas boas magras para cal hidráulica, a argila está intimamente misturada com a calcite, tendo um teor óptimo que ronda os vinte por cento. Através da calcinação em fornos industriais na ordem dos 1200°C a 1300°C, temperatura superior às que se utilizavam no fabrico de cais aéreas. Resultando uma mistura de cal viva e silicatos e aluminatos de cálcio, susceptíveis de se hidratarem e que lhe conferem hidraulicidade. É esta característica, que lhe permite fazer presa debaixo de água. Durante o processo de cozedura dá-se uma combinação parcial da cal com a sílica e alumina provenientes da decomposição de argila. Dessa calcinação resulta a formação de silicatos e aluminatos de cálcio, mas como aquela sílica e alumina não são suficientes para reagir com toda a cal, fica sempre após a cozedura uma elevada percentagem de cal livre que deve ser extinta logo depois da cozedura.

Na cal hidráulica a sua composição é em média composta por 55% de CaO, 23% de SiO₂ e 22% de Al₂O₃. Podendo ser organizada em dois grupos, em cais hidráulicas naturais e artificiais¹⁴.

¹⁴ Ver ponto 3.3.2, pág. 40 desta dissertação.

Excepcionalmente poderam existir matérias primas naturais que contenham rigorosamente uma composição constante. Daí a necessidade, recorrendo a correcções, de juntar misturas artificiais, de modo a garantir um produto com uma composição estável (Portugal, 1985, p. 215).

3.3.1. PRESA HIDRAÚLICA

Início de presa entende-se quando uma pasta, em contacto com o ar ou imersa em água, perde progressivamente plasticidade. No entanto quando a referida pasta perde na totalidade plasticidade, o fenómeno presa cessa. Compreendendo-se que para além do fim de presa o endurecimento prossegue.

Tabela 2 – Argamassas de assentamento com cais hidráulicas em pó (partes em volume).

Cal eminentemente hidráulica	Areia	Uso
1	1,5	Para presa rápida
1	2	Obras hidráulicas
1	2,5 a 3,0	Argamassas hidráulicas
1	2,5 a 3,0	Argamassas hidráulicas
1	1 a 2	Obras hidráulicas
1 (ext. por imersão)	1,25 a 2	Zonas imersas
1 (ext. ao ar)	1,5 a 1,75	Zonas imersas
1	1,5 a 2,0	Argamassas hidráulicas
1	1,25 a 1,66	Zonas imersas
1	1,7	Zonas imersas e juntas
1	1,5	Zonas a seco
1	2-2,5	Argamassas hidráulicas
1	2,76	Assentamento de alvenarias de tijolo
1	3,16	Assentamento de alvenarias de pedra irregular
1	2,2-3,6	Argamassas hidráulicas

Fonte: Mateus (2002, p. 209)

A cal hidráulica solidifica pela cristalização do hidróxido de cálcio ou cal apagada, ao carbonatar-se com o anidrido de carbónico do ar ou o dissolvido na água de amassadura. (Portugal, 1985, p. 215).

3.3.2. CAIS HIDRÁULICAS ARTIFICIAIS E CIMENTOS

O desenvolvimento da química permitiu que as cais hidráulicas artificiais e os cimentos, de presa rápida e de presa lenta, fossem produzidos através do processo de cozedura de calcários margosos ou por mistura e do doseamento de cal e argilas. As cais hidráulicas artificiais eram misturadas com areias, ou inertes de grandes dimensões, enquanto que as pozolanas artificiais ou naturais eram misturadas com cais aéreas. Ambos os processos garantiam a hidráulicidade de argamassas e betões (Mateus, 2002, p. 187).

4. POZOLANAS

A necessidade de utilizar uma argamassa que fizesse presa em contacto com a água e que fosse resistente à compressão e erosão, era fundamental na execução de cisternas, fundações de edifícios, muros de cais e pontes cuja a presença do nível freático fosse constante. Uma vez que, um dos factores mais importantes que contribuía para a degradação das alvenarias é a água e a sua consequente penetração nos maciços seja por capilaridade ou infiltração. Todos os construtores independentemente da época e condições climatéricas, idealizavam uma argamassa resistente à água, quer por causa do degelo, do próprio gelo ou expostas a infiltrações (Mateus, 2002, p. 183).

Os Gregos e outras civilizações Mediterrânicas, deram a conhecer aos Romanos a arte de construir. Estes construíram no Sul da Península Itálica, com aglomerante pozolanico. A pozolana é um dos principais materiais responsáveis pelo *opus romanus* muito referenciado na literatura de construção de Vitruvius. “[...] nem as ondas nem a força da água as podem dissolver.” (Vitruvius, 2009, p. 79).

Tabela 3 – Argamassas à base de pozolana e de trass para assentamento (partes em volume).

Cal	Pozolana	Inertes	Trass/Cinzas de Tournay	Uso a que se destina
1 (aérea viva)	2			Obras hidráulicas
1 (aérea viva)	2	1 areia lavada		Cisternas, aquedutos
1 (aérea em pasta)	2 a 3			Argamassas hidráulicas
1 (mediana. hydr.)	2			Idem
1 (aérea em pó)		1,5	0,5	Idem
1 (aérea em pasta)	2,33			Assentamento tijolos Roma
1 (aérea em pasta)	5			Núcleos de alvenarias Roma
1 (gorda em pasta)	1,25			Argamassas hidráulicas
mistura	0,5	1 areia		Idem
1 (aérea em pasta)	2			Idem
1 (aérea em pasta)	2 a 3			Idem
1 (gorda em pasta)	1	1 areia		Alvenarias imersas
1 (mediana. hydr.)	1	1 areia		Idem
1 (hidráulica)	1	1 areia		Idem
1 (aérea em pasta)	5			Argamassas hidráulicas
1 (aérea em pasta)	2	2 de areia		Idem
1 (aérea em pasta)	5,6			Pose de pedra irregular (Roma)
1 (aérea em pasta)	2,33			Pose de tijolos (Roma)
1 (aérea em pasta)	3			Idem
1 (aérea em pasta)	2			Idem
1 (aérea em pasta)	2 fina			Argamassa fina de pose
1 (aérea em pasta)	3 média			Argamassa média de pose
1 (aérea em pasta)	4 grossa			Argamassa grossa de pose
1 (aérea em pasta)	1	1 areia		Argamassas hidráulicas
1 (aérea em pasta)	1,5			Idem

Fonte: Mateus (2002, p. 207)

As argamassas hidráulicas eram normalmente preparadas com matérias que desempenhavam dupla função. Caracterizavam-se por actuarem como inertes, contribuindo para a massa e para a resistência mecânica e garantiam a função química e física com a cal, ligante principal (Mateus, 2002, p. 183).

Com a intenção de recriar pozolanas naturais, na sua ausência, foram desenvolvidos substitutos designados por pozolanas artificiais. Consistia em misturar tijolo ou telha pilada com a cal gorda, uma vez que estas conferiam características hidráulicas às argamassas. Assim, as argamassas poderiam começar a ganhar presa passado poucos dias, mesmo com condições desfavoráveis.

Vitrúvio referencia na sua literatura cais “muito enérgicas”, sendo provável que se tenha utilizado em tempos cais naturalmente hidráulicas, embora não sejam compreendidos cientificamente os mecanismos que lhe possibilitavam ganhar presa quando imersas em água (Mateus, 2002, p. 184).



Ilustração 6 - Grãos de pozolanas (Guimarães, 2009, p. 75)

4.1. POZOLANAS NATURAIS

Desde a época Romana que as pozolanas naturais foram frequentemente utilizadas, essencialmente em Itália no fabrico de betões e argamassas¹⁵. Pozzuoli, é uma região situada perto de Nápoles que deu origem ao seu nome, devido à abundância de minas

¹⁵ Ver ponto 8, pág. 69 desta dissertação.

de cinzas e tufos vulcânicos oriundos de projecções vulcânicas, granulares, terrosas, com granulometria que variava entre areia grossa e cinzas.

A cal desempenha um papel fundamental na presa das pozolanas, pois esta só se consegue adicionando cal, uma vez que o hidróxido de cálcio, com o qual reage quimicamente dando origem a compostos estáveis, silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, conhecidos por conterem elevado poder de aglomerante. Podemos assim, classificar as pozolanas naturais como um inerte a juntar à cal, mas também como um cimento quando intimamente misturado com esta.

No final do séc. XIX, acreditava-se que a pozolana era constituída quimicamente por argila, silicatos hidratados de alumínio e sílica, numa percentagem que poderia alternar entre 60 e 90%, por 5 a 10% de óxido de cálcio e por outros óxidos como o ferro, potássio, sódio e magnésio.

Em meados do séc. XX, começou a considerar-se a actividade pozolanica de um material directamente proporcional ao teor em sílica amorfa. Deste modo, uma pozolana caracterizada de boa qualidade, deveria ter no mínimo 40% de SiO₂, no máximo 5% de óxido de alcano-terrosos¹⁶ e 10% de óxido alcaninos¹⁷.

Passou-se a uma classificação baseada na composição mineralógica, uma vez que a classificação química não permitia apurar claramente os diversos materiais naturais que poderiam ser considerados como pozolana, determinada por métodos petrográficos. O vidro vulcânico, a opala, os argilominerais, os zeólitos e os hidróxidos de alumínio, foram identificadas como as substâncias básicas responsáveis pela actividade pozolanica.

O vidro vulcânico, a opala e os hidróxidos de alumínio, são componentes naturais activos com capacidades pozolanicas que não necessitam de calcinação após a extinção. As argilas por seu lado necessitam de calcinação e deveram ser consideradas como pozolanas artificiais.

A qualidade de uma pozolana, estava tradicionalmente ligada à sua coloração e proveniência. No caso de Roma¹⁸ considerava-se a melhor pozolana a de cor vermelha. Se ostenta-se uma cor negra era considerada de inferior qualidade e

¹⁶ Se cálcio de magnésio.

¹⁷ De sódio e potássio.

¹⁸ No final do séc. XIX e princípios do séc. XX.

consequentemente seria comercializada a menor preço. Consoante o destino de emprego da argamassa ou do betão a fabricar, as pozolanas eram classificadas como finas, médias ou grossas. Por quase todo o território Europeu existe pozolana. No nosso território, nomeadamente em várias ilhas do arquipélago dos Açores e na região de Setúbal, foi possível extrair diversos tipos de pozolana (Mateus, 2002, p. 184).

4.2. POZOLANAS ARTIFICIAIS OU MATERIAIS CERÂMICOS PULVERIZADOS

As pozolanas artificiais, até à descoberta do cimento Portland, designavam-se normalmente por pó de tijolo. Este era obtido por esmagamento ou apilonamento de fragmentos de telhas, tijolos ou outro tipo de material cerâmico obtido pelo processo de cozedura. O produto final era geralmente utilizado em três granulometrias diferentes:

- Fina: em pó.
- Média: grão inferior a 20 mm, tamanho médio de um grão de milho.
- Grossa: grão superior a 20 mm, tamanho médio de uma noz.

Tabela 4 - Argamassas à base de tijolo pilado.

Cal	Areia	Tijolo moído	Indicadas para	Rendimento
1 (aérea em pasta)	2	1	Assentamento	
1 (aérea em pasta)	1	1	Assentamento	0,83
1 (aérea em pasta)	0,5	1	Assentamento	0,83
1 (aérea em pasta)	0,75	0,75	Assentamento	0,83
1 (aérea em pasta)	1,5	0,5	Assentamento	0,83
1 (viva)		2	Assentamento	
1 (aérea em pasta)		1,5	Assentamento	
1 (aérea em pasta)		3	Assentamento	
1 (hidráulica em pasta)	2	1	Assentamento	
1 (aérea em pasta)	0,5	0,5	Assentamento	0,83
1 (aérea em pasta)		3	Caldeamento de abóbadas	0,65
1 (gorda em pasta)	1	1	Obras hidráulicas	
1 (hidráulica em pasta)		2	Caldeamento de abóbadas	

Fonte: Mateus (2002, p. 207)

No intuito de fabricar uma argamassa com propriedades hidráulicas, os Romanos nem sempre tinham acesso a pozolanas naturais, começaram então a misturar a cal com fragmentos de material cerâmico. Nesta época, na edificação de diversos

monumentos, era frequente a utilização de argamassas que se pensavam ser compostas de tijolo pilado, porém eram constituídas com pozolana vermelha.

Foi Vicat que, diferenciou as duas funções que o tijolo pilado podia assegurar numa argamassa. Se o tijolo era cozido a uma temperatura próxima da fusão, esta era considerada matéria inerte, uma vez que produzia menos energia que a matéria hidraulizante¹⁹. No final do século XIX, os tijolos pilados foram substituídos pelas cais hidráulicas (Mateus, 2002, p. 186).

Hoje em dia, através do controlo de temperatura de calcinação de argilas, é possível obter pozolanas artificiais de uma forma mais controlada. A fabricação de tijolos e telhas, implica a utilização de temperaturas superiores (950° C) relativamente aquelas usadas para obter as pozolanas (700 a 800°C) (Mateus, 2002, p. 187).

4.3. ARMAZENAMENTO E CONSERVAÇÃO DE CAIS, POZOLANAS E TIJOLOS PILADOS

A cal viva era transportada para o estaleiro, onde deveria ser extinta o mais rápido possível. Isto permitia que a cal aérea não absorvesse a humidade do ar e não perdesse a capacidade de presa.

O modo de armazenamento, era efectuado através da colocação da cal viva em valas escavadas no solo, revestidas com madeira no fundo e nas paredes. O topo destas valas era coberto com cal extinta em pó, cerca de quinze centímetros de espessura, a vala era coberta por uma esteira ou tela.

O transporte da cal viva era realizado de forma hermética em barris de madeira. Tinha-se em linha de conta a estação do ano em que era fabricada a cal de modo a preservá-la da água das chuvas e da humidade, por forma a não comprometer a integridade do produto.

A conservação de cais hidráulicas não moídas, permitia o seu armazenamento até seis meses. Para tal, era fundamental que se tivessem alguns cuidados específicos. Era imprescindível que, numa zona coberta, o solo deveria estar isento de humidade, fosse revestido com uma camada de cal extinta em pó e com uma espessura de doze a vinte centímetros. Sobre esta camada era disposta a massa de cal viva a armazenar,

¹⁹ Caso o tijolo fosse cozido a baixa temperatura.

sendo feito, também com cal extinta em pó e com a mesma espessura da base, o revestimento das paredes laterais e o revestimento final superior; a cal em pó, deveria preencher todos os vazios exteriores, impedindo a entrada de ar e humidade na massa de cal.

Para se conservar a cal aérea em pasta, é importante que esta esteja imersa em água, com o propósito de não reagir com o dióxido de carbono do ar, evitando a presa. Um processo muito utilizado seria, a utilização de um tanque, o qual protegia de contaminantes aumentando a conservação por mais anos. Porém, no intuito de aumentar ainda mais o tempo de conservação da cal aérea em pasta utilizava-se outro método. Consistia em, utilizar na mesma tanques com as mesmas qualidades impermeabilizantes, contudo cobria-se a superfície com uma camada de areia com cerca de trinta centímetros. Esta camada obrigava a uma determinada manutenção, deveria ser humedecida regularmente. A cal consoante a necessidade poderia ser retirada do tanque, quer a depositada no fundo (mais antiga), assim como a que se situava à superfície (recentemente extinta). A cal extinta mais antiga era aplicada para trabalhos de reboco ou para a primeira camada de estuques e outros acabamentos. A cal aérea mais jovem era utilizada em trabalhos de assentamento (Mateus, 2002, p. 190).

O armazenamento da cal extinta em pó, devido à sua reacção com o ar e com a humidade, requeria também cuidados. No século XIX foram desenvolvidos vários estudos, para se proceder à separação da cal extinta em pó dos fragmentos não extintos, oriundos de insuficientes ou excessiva cozedura. Estes processos mecânicos, como os peneiros mecânicos e os separadores mecânicos por aspiração, continuam a ser utilizados hoje em dia no fabrico de cais em pó. A cal aérea extinta em pó, era tradicionalmente conservada em valas revestidas com madeira e cobertas com palha ou de telas juta. Para pequenas quantidades, começou a ser armazenada em barris de madeira ou em sacos de papel grosso, estando sempre acondicionada em local coberto.

As cais hidráulicas em pó eram igualmente armazenadas em barris hermeticamente fechados e sacos de lona devidamente selados.

Actualmente os sacos de cal em pó, aérea ou hidráulica, são por norma selados com a marca da empresa e com a data de extinção. Os selos deverão estar colocados de modo a que quando a embalagem for utilizada estes continuem visíveis.

Com a industrialização dos processos de extinção, as cais hidráulicas passaram a ser utilizadas depois de moídas. Devido à sua facilidade de reacção com a água, com poeiras e outras cais, eram mantidas em sacos estanques, como o que acontecia nas cais aéreas em pó.

Hoje em dia, devido a um processo de ensacadura mais eficiente, reduzido ao mínimo o risco de contacto com a humidade do ar, as cais hidráulicas apresentam uma validade que pode atingir um ano após a fabricação.

As pozolanas naturais e os tijolos pilados, não necessitavam de grandes cuidados. Tal como as areias eram transportados e simplesmente depositados no estaleiro da obra em zonas isoladas dos terrenos subjacentes e cobertas de modo a que não se dispersassem com a água das chuvas. As pozolanas artificiais, devido à sua maior capacidade de reacção com a água, eram armazenadas em obra, de modo a evitar o contacto com a humidade (Mateus, 2002, p. 190).

5. PROCESSOS E TEMPERATURAS DE COZEDURA

A par com o processo de selecção e preparação das matérias primas necessárias à execução das diferentes cals, existe um cuidado nos procedimentos relativamente à cozedura. Torna-se importante compreender os conceitos mais úteis e importantes, de modo a analisar de forma correcta este processo. A reacção endotérmica ocorrida durante a cozedura dos calcários, dá origem à redução de peso, uma vez que, se processa uma reacção de dissociação do carbonato de cálcio. No caso de se tratar de uma pedra calcária pura ou quase pura, a dissolução a 330°C é inexistente, ocorrendo apenas a temperaturas superiores a 440°C e tornando-se óptima a 860°C. A uma temperatura de 925°C, atinge-se a pressão de decomposição. Através de vapor de água, ou fluxo de ar consegue-se controlar a temperatura de dissolução, permitindo afastar o dióxido de carbono libertado durante o processo.

Os calcários com argilas, quando submetidos a temperaturas superiores a 900°C, os óxidos de argila combinam-se com o óxido de cálcio lançado pela cozedura do carbonato de cálcio.

Neste processo são obtidos silicatos de calcário, aluminatos e ferro-aluminatos de cálcio. Estes compostos conferem o fenómeno da presa por hidraulicidade, mesmo sem a intervenção do anidrido de carbónico presente no ar.

Mediante a temperatura de cozedura, são obtidos diversos graus de hidraulicidade, pois são conseguidos diferentes tipos de compostos. Contrariamente aos dias de hoje, antes do século XVIII, o controlo de fabrico era feito empiricamente. Era aconselhado, por exemplo, que a pedra calcária fosse partida em pedaços de modo a que a calcinação fosse feita de forma eficaz. Para tal, o fragmento deveria ser de tamanho mediano, uma vez que se fosse pequeno a circulação de ar quente dentro do forno era afectada e por outro lado se fosse demasiado grande existiriam problemas em garantir uma calcinação completa.

Dever-se-ia no entanto, garantir um crescimento gradual e ausente de interrupções na temperatura de cozedura. O processo de cozedura durava em média entre doze a quinze horas, a contar do momento em que as pedras calcárias atingissem a coloração vermelha, mantendo em atenção o estado das pedras para que não ocorra vitrificação das mesmas. O forno deveria ser aquecido gradualmente e pacientemente, de modo a evitar a destruição do próprio forno. Interrupções durante o processo de

cozedura, poderiam dar origem a pedras parcialmente calcinadas, que por sua vez tornavam-se quase impossíveis de decompor. Era fundamental que, toda a fornada fosse constituída por matéria proveniente do mesmo local, garantindo uma melhor eficiência na cozedura e a mesma homogeneidade das características finais da cal. Os calcários dentro do forno, eram dispostos de forma a que os blocos maiores ficassem no centro rodeados pelos fragmentos menores, de modo a otimizar o processo de cozedura. De forma a baixar ligeiramente a temperatura e afastar o dióxido de carbono que se forma na cozedura, as pedras calcárias eram banhadas (Mateus, 2002, p. 178).

5.1. FORNOS DE COZEDURA A LENHA

Caracterizavam-se por se tratar de fornos alimentados a lenha, consequentemente intermitentes, visto que a cada fornada teria de ser totalmente descarregado. Neste âmbito era também frequente a utilização de fornos de campanha (Ilustração 7). Estes fornos eram normalmente usados quando uma grande quantidade de cal era necessária, por exemplo para uma obra de grandes dimensões. Porém, quer o forno estático (Ilustração 8) quer o de campanha, carburavam imensa lenha. Poderia ser desvantajoso pois necessitavam de bastante lenha bem seca, o que por vezes não era fácil de encontrar.



Ilustração 7 – Secção de um forno de cal de campanha. Técnicas tradicionais de construção de alvenarias. (Mateus, 2002, p. 181)

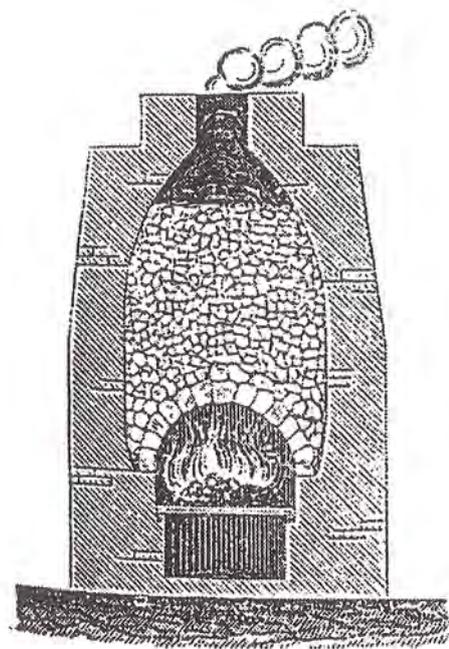


Ilustração 8 – Secção de um forno de cal fixo tradicional. Técnicas tradicionais de construção de alvenarias. (Mateus, 2002, p. 181)

Em meados do século XVIII, começaram a desenvolver-se novos métodos que permitiram otimizar o processo de cozedura. Os fornos começaram a ser fechados, o que permitia uma redução no consumo. Contudo, o tempo de cozedura era ainda de quinze dias, com vista em reduzir este tempo e simultaneamente aumentar a capacidade, no século XIX começaram-se a utilizar fornos mistos (Ilustração 9). Estes fornos, funcionavam com duas câmaras duplas independentes. Assim, enquanto numa se poderia proceder à cozedura de cal, na outra câmara, aproveitando a temperatura, conseguia-se cozer material cerâmico, telhas e tijolos.

Começaram a surgir fornos que processavam a calcinação de forma mais eficiente. Estes permitiam descarregar cal na parte inferior e simultaneamente carregar com pedra calcária na parte superior. Os primeiros exemplares de fornos deste tipo, eram construídos em pedra e sustentavam uma forma ovóide ou de cone invertido. Porém, pecavam por permitir a mistura das cinzas provenientes da combustão²⁰ com a própria cal. Só no final desse século surge a solução para este problema, com a alteração para fornos de forma cónica, em que a câmara do combustível era independente das fornhalhas de cal.

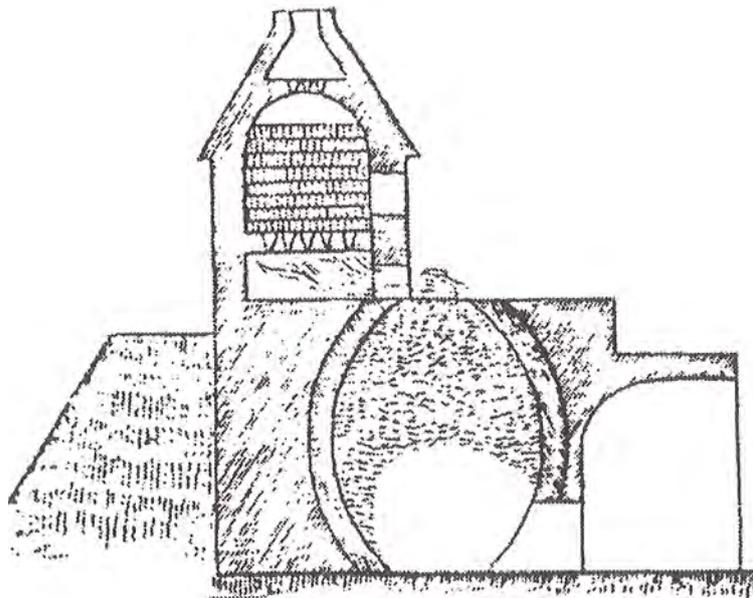


Ilustração 9 – Forno misto de calcinação contínua. Técnicas tradicionais de construção de alvenarias.
(Mateus, 2002, p. 182)

²⁰ Carvão, lenha ou jorras.

O facto de começarem a ser desenvolvidos e testados, estes novos fornos de cozedura, não impediu que muitos dos tradicionais fornos fossem ainda utilizados no início do século XX. Tornou-se usual a coexistência entre fornos ancestrais, fornos intermitentes e de fornos contínuos (Mateus, 2002, p. 181).

5.2. TEMPOS DE COZEDURA

O tempo de cozedura variava consoante a qualidade das pedras, o tipo de combustível utilizado e mediante o tipo de forno.

Durante o século XIX, os tempos médios de cozedura variavam entre 60 a 110 horas, o que representa entre 3 a 5 dias. Higgins²¹ desenvolveu os primeiros estudos sobre a problemática da temperatura e os tempos de cozedura. As suas experiências consistiam em testar diversos tipos de calcário, registar após a cozedura a perda de peso de cada amostra e verificar o volume de anidrido de carbono libertado durante a calcinação. A sua investigação levou-o a concluir que, as pedras calcárias devidamente fragmentadas deveriam ser levadas de modo progressivo ao rubro, de modo a que não fosse ultrapassado. Era conveniente optar por um tempo de cozedura consoante a pedra calcária utilizada. Rondelet, considerou posteriormente que a cal só estaria devidamente cozida quando se observa-se uma labareda isenta de fumo, a sair da parte inferior do forno. Nesse momento estaríamos na presença de uma cal ostentando um branco intenso. (Mateus, 2002, p. 181).

Com o melhor conhecimento dos fornos e do processo de cozedura, começaram a esboçar-se as primeiras classificações, que se tornaram progressivamente mais detalhadas sobre a temperatura de cozedura. Constatou-se que, contrariamente do que foi dito por Vicat, a classificação de hidraulicidade de uma cal não dependia somente da composição química da pedra calcária existente. Assim, mesmo que o material calcário seja o mesmo podemos extrair dele diferentes graus de hidraulicidade, mediante a relação tempo de cozedura e temperatura.

Foram identificados anteriormente quatro graus de calcinação, que de modo geral representavam os diversos produtos que se poderiam obter do mesmo produto calcário. A coloração que o composto calcário ia adquirindo durante a cozedura, dava indicações do tipo de calcinação, ou seja, no 1º grau o tijolo era rosa, no 2º grau ficava

²¹ Século XVIII.

vermelho cereja, no 3ª grau o tijolo estaria negro e por último no 4º grau o tijolo atingia o nível máximo, vitrificava.

Com a utilização de equipamento que permitia verificar a temperatura, os níveis de calcinação começaram a ser controlados eficazmente (Mateus, 2002, p. 182).

6. CRITÉRIOS ACTUAIS DE QUALIDADE E NORMAS DE PRODUÇÃO

Tradicionalmente a qualidade de uma cal requeria o cumprimento de diversos factores. A cal deveria assim, gozar de uma perfeita calcinação, homogeneidade, elevado grau de pureza e facilidade de extinção.

Actualmente, o monóxido de carbono tem um papel importantíssimo no controle da qualidade da cal. Este gás que emana das câmaras de combustão, a par com a gestão da temperatura do forno garantem o fabrico de cal com melhor êxito de cozedura (Mateus, 2002, p. 182).

Os critérios usados nos séculos anteriores, pecavam por se apoiarem somente no saber empírico, tal como já tem vindo a ser referido ao longo desta dissertação, o que não garantia perfeita exactidão de resultados, representando assim uma calcinação aproximativa. Baseavam-se muito na observação periódica do interior do forno e na prática. Existia algum controlo durante o processo de cozedura, porém, a pureza de uma cal era garantida pela observação da isenção de fragmentos de pedra calcária, impurezas, cinzas e pedaços pouco cozidos. A remoção de impurezas requeria o uso de peneiros ou crivos de malha, geralmente circulares e de malha fina, que separava a cal de todas as restantes impurezas. A cal no entanto, teria de dar provas da sua qualidade. Foi então que Higgins, surge com uma ideia de avaliar a qualidade da cal. Esta, imediatamente após a cozedura deveria apresentar uma cor branca intensa, que garantia o seu elevado grau de descontaminação de impurezas. Era também avaliada, a rapidez de dissolução com água ou da sua pulverização, dependendo do processo de extinção. Finalmente, de modo a aferir a dissolução, esta não deveria ter efervescências e nem resíduo, em ácido acético ou ácido clorídrico.

Nas grandes produções industriais de cais e como consequência dos conhecimentos científicos, no século XIX, foram gradualmente introduzidos testes, que na sua maioria são utilizados nos dias de hoje. Testemunho disso é o controlo do peso aparente ou baridade, nas cais hidráulicas testa-se a presa e nas argamassas com traços de 1:3 verifica-se a resistência (Mateus, 2002, p. 183).

Até ao início do século XX, as pequenas produções artesanais responsáveis por uma grande percentagem de cal usada na construção civil, permaneceram fiéis aos critérios de qualidade tradicionais.

No século XIX, as cais de construção são classificadas em diferentes classes e controladas continuamente ao nível da qualidade, de modo a determinados critérios de conformidade estatística sejam verificados. A norma europeia EN-459, contempla as seguintes exigências:

- Exigências baseadas noutras propriedades físicas nas cais aéreas e hidráulicas consiste no controle da granulometria, massa volúmica aparente e a estabilidade das pastas de cais a partir da medição do teor em água livre.
- Exigências relativas aos teores de composição química nas cais aéreas percentagens em massa de CaO+MgO, de CO₂ e de SO₃. Para cais hidráulicas, percentagens em massa de CO₂, de SO₃ e de cal livre.
- Exigências relativamente ao teste sobre argamassas com areia normalizada ao traço 1:3, relacionadas com a plasticidade e a resistência mecânica. Para cais aéreas teor em ar. Para cais hidráulicas teor em ar, resistências à compressão aos 7 e 28 dias, penetração da agulha de Vicat e tempos de presa.

Através da realização do teste de reactividade, de rendimento volúmico/peso e da estabilidade após a extinção, é conferida a aceitação de cais vivos. Estes testes no presente são indispensáveis para a recepção de cais de produção controlada em estaleiro. A par com o conhecimento e a compreensão das particularidades de produção tradicional e suas limitações, deveram constituir referência fundamental nas acções de conservação em alvenarias antigas, em que estas não obedeciam a uma produção industrial não controlada (Mateus, 2002, p. 183).

7. REVESTIMENTOS DE PAREDES COM ARGAMASSAS DE CAL

Os materiais de revestimento estão intrinsecamente ligados com o próprio material utilizado na construção da parede, empiricamente aplicados segundo os princípios de compatibilidade.

Tendo presente que o reboco desempenha uma função muito importante, no que diz respeito à “saúde” de uma parede, uma vez que cumpre as mesmas funções que a “pele”. O reboco deve permitir que a parede respire, deixando a humidade sair e não permitir que a água entre na mesma à semelhança da pele, que nos permite perder água através dos poros, sem que estes permitam que a água entre no corpo (Appleton, 2003, p. 57).

Em paredes de alvenaria, os revestimentos mais utilizados são concebidos à base de rebocos de argamassas fracas, que contemplam dependendo da região o uso de areias e cal aérea, ou areia e barro.

Imperativamente procura-se produzir argamassas com características que se adequem ao suporte a que se destina. “[...] baixa retracção, fraca resistência mecânica, boa porosidade, boa aderência à base, boa trabalhabilidade, encontrando-se referência ao uso de traços 1:2 e 1:3 em rebocos de cal e saibro.”(Appleton, 2003, p. 57).

No seu conjunto, estas características são primordiais para a obtenção de argamassas que gozem de um bom desempenho de revestimento. A primeira camada de protecção das paredes é ainda mais importante quando se trata de revestimentos exteriores.

Tal como definido por João Appleton (2003, p. 57), o cimento Portland veio interferir na recuperação de edifícios, dando origem a uma nova vaga de recuperação inconsequente, visto que todos os conhecimentos outrora desenvolvidos e comprovados na prática caíram no esquecimento. Este conceito construtivo, trás consigo a sede do Homem necessitar de construir tudo rapidamente, o que veio aguçar as patologias inerentes às construções em paredes de edifícios antigos, uma vez que, existe uma tremenda incompatibilidade química entre o cimento e a pedra, afirmando-se como inimigos figadais.

Convém recordar que, em termos de rapidez de execução, as construções antigas eram executadas, de uma forma que nada tem a haver com os dias de hoje. A nível de materiais, havia tempo para que estes pudessem adquirir as suas características próprias, sendo alcançada a sua estabilidade ao longo do decorrer da obra. Desta forma, erradamente, é incompreensível que o tempo necessário para o apagamento da cal, seja nos dias de hoje intolerável em qualquer estaleiro (Appleton, 2003, p. 58).

No entanto, como se tem vindo a verificar, as argamassas constituídas por cimento Portland, são incompatíveis com as construções antigas e, ao contrário do que se pensou durante muito tempo, a sua durabilidade face às argamassas de cal, quando executadas e aplicadas correctamente, é inferior. “Revestimentos de cimento incompatíveis com alvenarias antigas: rigidez excessiva e retenção de água na parede.” (Veiga, 2003, p. 77)

A cal da argamassa fresca, é constituída por hidróxido de cálcio, quando aplicada e exposta ao ar endurece, transformando-se em carbonato de cálcio, tornando-se insolúvel em água e progressivamente mais resistente, do exterior para o interior (Gonçalves, 1997, p. 36). Se todo este processo de transformação beneficiar de boas condições e não existirem acções de degradação demasiado severas no período inicial, a argamassa pode atingir elevada durabilidade e resistência consideráveis. A argamassa de cal aérea poderá sofrer, ao longo do tempo, de melhorias nas suas características (Veiga, 2003, p. 27).

... é, frequentemente, um duplo erro em substituir uma argamassa de cal aérea, mesmo que seja por outras argamassas de cal de constituição semelhante: por um lado a aplicação é normalmente menos cuidada, dada a falta de preparação da mão-de-obra actual para este tipo de trabalho, e por outro perdem-se décadas de endurecimento da cal (Veiga, 2003, p. 27).

Maria do Rosário Veiga (2003, p. 77) afirma que, “Portanto é necessário concluir que é possível executar revestimentos de cal com boa durabilidade, desde que sejam aperfeiçoadas as tecnologias da cal.”

7.1. PAREDES EXTERIORES

As paredes resistentes em edifícios antigos e modernos destinam-se a cumprir determinadas exigências de segurança estrutural. Caracterizam-se por possuírem um papel relevante na estrutura do edifício no que se refere à resistência a cargas verticais, provocadas pela acção da gravidade e a forças horizontais provocadas pelos

sismos e ventos. Appleton (2003, p. 18) define que, “Paredes resistentes são, pois, aquelas que, na linguagem corrente, são identificadas como paredes mestras.”

A construção de paredes mestras, em edifícios antigos, apresentam usualmente grande espessura e são constituídas por materiais heterogêneos, materiais rígidos e pesados que trabalham exclusivamente à compressão. Verifica-se, em paredes exteriores de edifícios com andar de resalto, na qual a sua composição se baseia em estrutura de madeira (Appleton, 2003, p. 18).

A grande espessura destas paredes, implica uma compreensão de ordem mecânica e estrutural. Os materiais utilizados nestas paredes comportam-se satisfatoriamente quando sujeitos às forças de compressão, nenhuma resistência às forças de tracção e a esforços de corte.

Appleton (2003, p. 18) considera que uma parede larga é imperativamente pesada (Ilustração 10), a compressão resultante é utilizada para a estabilidade, equilibrando forças horizontais deslizantes e derrubantes, devido por exemplo a movimentações de terras ou de elementos estruturais.

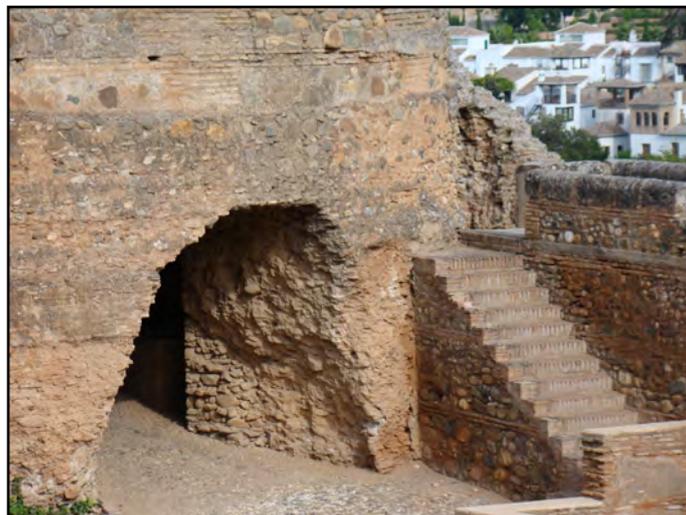


Ilustração 10 – Generosa parede exterior, Palácio de Alhambra, Granada. (Ilustração nossa, 2010)

Quanto mais larga for a parede, menos esbelta é, resultando numa parede com menor risco de instabilidade. Simultaneamente com o aumento de peso, estabilizador, o aumento da largura da parede constitui um alargamento do seu próprio núcleo central, aumentando a capacidade da parede suportar forças de derrubamento, sem que haja

o risco de se instalarem tensões de tracção nas secções, as quais favorecem o aparecimento de fendilhação no material.



Ilustração 11 –Visível a robustez da parede exterior, Évora. (Ilustração nossa, 2010)

Estes elementos não garantem somente a integridade estrutural do edifício (Ilustração 11), mas também contribuem na protecção do interior habitado em relação aos agentes atmosféricos, nomeadamente da água da chuva e do vento (Ilustração 12).

Internamente, as paredes antigas são constituídas por canais que a água e o ar terão de percorrer do exterior para o interior, “[...] um percurso acidentado e longo [...]” (Appleton, 2003, p. 20). Esse longo período de tempo que a água terá de percorrer, durante a época das chuvas, é suficiente para que chegue novamente o tempo seco.

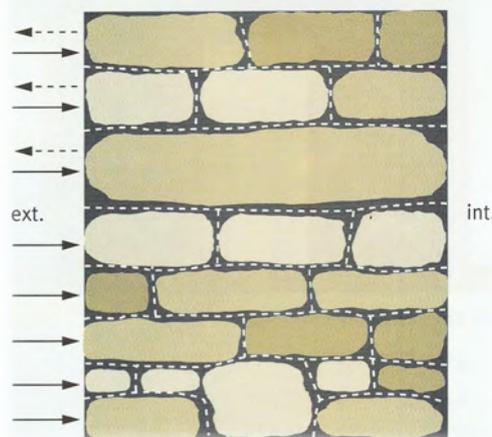


Ilustração 12 – Modelo e comportamento de parede de alvenaria, em relação à humidade. Reabilitação de edifícios antigos. (Appleton, 2003, p. 20)

Quando chega o tempo seco a água instalada na parede irá efectuar o percurso inverso até ao exterior, permitindo novamente que esta seque e esteja preparada para o novo ciclo das chuvas. O efeito nefasto que este processo acarreta, ocorre quando o Inverno é mais prolongado, representa mais água no interior da parede, a par com o próprio uso do edifício, podem representar humidades infiltradas no seio da parede. Este acontecimento traduzir-se-á em salitres (Ilustração 13), bolores e fungos conhecidos em todos os edifícios antigos (Appleton, 2003, p. 21).



Ilustração 13 – Reboco exterior, Córdoba. (Ilustração nossa, 2010)

Uma solução comum, nomeadamente em construções rurais, recai na construção das paredes em alvenaria seca, incompletamente argamassada, criando vazios. Estes funcionam como câmaras de descompressão, onde a humidade infiltrada se acumula, evitando que esta prossiga para o interior.

O conforto das construções, associadas a este tipo de paredes, secas no Inverno e frescas no Verão, está intimamente condicionada com o seu meio, estando comprometida se existir dificuldade em secar as paredes, devido à sua grande capacidade de retenção de água, quando muito humedecidas no caso de estarem em constante contacto com solos de nível freático alto (Appleton, 2003, p. 22).

Segundo o autor João Appleton (2003, p. 22), as paredes de edifícios antigos, podem ser concretizadas em diversos materiais, quer seja ao nível das unidades elementares, quer dos materiais de ligação e das técnicas de aplicação. Ao longo do nosso País, a influência regional torna-se evidente no modo como se distribui geograficamente, as alvenarias de pedra, predominantemente construídas em granito nas zonas ricas nesta

rocha no Douro Litoral, Trás-os-Montes e Beiras, do xisto nas Beiras e também no Douro, dos calcários na Região de Lisboa, Alentejo e Beira Litoral.



Ilustração 14 – Manteigas. (Ilustração nossa, 2011)



Ilustração 15 – Castelo de Mourão. (Ilustração nossa, 2010)

A argamassa utilizada nas construções varia consoante a disponibilidade local, entre a terra mais ou menos argilosa, o barro e as misturas de cal aérea e areia, podendo as areias serem mais ou menos argilosas, dependendo da região de proveniência, a forma de extracção e o local. São conhecidas diversas receitas e misturas para a concretização de argamassas, porém quase sempre se ignora a composição real, uma vez que são escassos os registos fidedignos.

7.1.1. REBOCO EXTERIOR

Os edifícios antigos apresentam grande diversidade de soluções, tanto na constituição como no acabamento, para revestimentos exteriores, tendo variado ao longo dos séculos, com o tipo de suporte, localização e tipologia (Veiga, 2003, p. 27).

A cal quando utilizada como ligante quase único, necessita de um modelo de constituição em multicamada, em que cada camada tem funções específicas. O

emboço, reboco e esboço constituem as camadas de regularização, o barramento e pintura são consideradas como camadas de protecção.



Ilustração 16 – Paramento com reboco danificado, Castro Marim. (Ilustração nossa, 2011)

O suporte a revestir por argamassa de cal deve possuir uma superfície grosseira (Ilustração 16), de modo a otimizar a aderência da argamassa (Veiga, 2003, p. 27). A composição do reboco varia consoante a materialidade do suporte que pode variar entre alvenaria de pedra com diferentes naturezas, alvenaria de tijolo maciço, adobe ou taipa, entre outras. A mesma autora refere, que nem todas as pedras são consideradas aptas para receber argamassa de cal. Nos suportes de tijolo, de superfície mais lisa, as juntas não são preenchidas de modo a aumentar a rugosidade do paramento e os emboços dos revestimentos exteriores são executados sobre alvenarias com juntas abertas (Veiga, 2003, p. 28).

As diversas camadas de regularização e protecção são realizadas com diferentes traços e composições mediante a natureza dos materiais utilizados, os fins a que se destinam e as próprias características do suporte.



Ilustração 17 – Destacamento do reboco, Coja. (Ilustração nossa, 2010)

As camadas de regularização e protecção são constituídas por argamassas de cal e areia, podendo ser acrescentado matérias orgânicas e minerais. Frequentemente, as camadas internas apresentam traços mais ricos em ligante e maior granulometria em comparação com as argamassas exteriores, de modo a controlar a porosidade e irregularidade do paramento do interior para o exterior e conferindo um bom comportamento às deformações estruturais e à água. Individualmente, a camada principal pode ser constituída por várias subcamadas. Para a mesma espessura total, camadas finas mas em maior número possibilitam melhor resposta de protecção à água e maior durabilidade sem que seja comprometida a permeabilidade ao vapor de água, sendo esta capacidade de deixar a parede respirar uma característica neste tipo de argamassas antigas (Veiga, 2003, p. 28).

As diversas camadas de revestimentos são definidas por:

- O emboço, por se tratar da primeira camada de argamassa, estabelece o contacto com o suporte. Torna-se importante que a constituição deste seja composta por agregados com maior granulometria, visando proteger a base do paramento e constituir um estrato com geometria adequada à aplicação das seguintes camadas e

corrigir os defeitos de construção existentes (Veiga, 2003, p. 27). Deve ser aplicado sobre um suporte limpo e previamente humedecido e a sua espessura compreendida entre cinco e vinte milímetros. A dosagem é idêntica à utilizada na argamassa de assentamento de alvenaria, do tipo 1:2 a 1:4. Deve ser projectada com força e bem apertada com a ajuda da colher ou da talocha, garantindo um acabamento áspero de modo a permitir um boa superfície aderente para a camada seguinte. Após este processo, deve-se deixar secar a argamassa por períodos que podem variar entre três e seis semanas, de modo a permitir a carbonatação da cal aérea antes da aplicação da camada seguinte. Esta camada não contribuirá para a capacidade de impermeabilização do revestimento (Veiga, 2003, p. 28).

- O reboco sendo a camada intermédia, possui a responsabilidade de regularizar o paramento para receber o acabamento. À semelhança da camada seguinte, a dosagem desta, não varia muito da que se utiliza no emboço, embora se aplique a regra da redução progressiva do teor do ligante, do tosco para o exterior. A segunda camada é importante para a impermeabilização do reboco, sendo imprescindível gozar de boa compactação, ser espessa e com uma dosagem de ligante suficiente para reduzir a capilaridade. A espessura pode variar entre cinco a dez milímetros, utilizando um agregado com menor granulometria que no emboço e bem apertado sobre este já previamente humedecido (Veiga, 2003, p. 29).

- O esboço contribui para a impermeabilização embora as suas principais funções sejam estéticas e de protecção do próprio reboco. O teor de ligante deve ser considerado em doses mais reduzidas uma vez que é fundamental que não fissure. Estes dois factores, a resistência e fendilhagem são directamente responsáveis pela durabilidade do revestimento. Trata-se de uma camada de pouca espessura e de preparação para o acabamento. A granulometria deve ser fina e conferir ao paramento uma textura o mais lisa possível. Depois de seca, se necessário, esta camada deve ser picada, de modo a proporcionar mais aderência para a recepção da camada seguinte. No caso de se tratar de um edifício mais pobre ou de construção menos cuidada, não é imperativo recorrer à aplicação do esboço, pois o acabamento final pode ser aplicado directamente sobre o reboco (Veiga, 2003, p. 29).

Nas relações volumétricas entre cal e areia a utilizar em argamassas de revestimento, antigamente calculados empiricamente, era desejado obter a máxima compacidade, a cal deveria preencher todos os vazios criados pelos grãos de areia. O traço dependia

portanto, da granulometria e da forma dos grãos de areia e ao mesmo tempo da própria finura da cal. O expoente máximo da eficiência obtinha-se se usassem cal finas e areias bem graduadas e pouco angulosas, de modo a encaixarem o mais possível entre ambas. Vitruvius refere a proporção 1:3 como o traço adequado para argamassas optimizadas, porém, se as areias forem compostas por areias de rios, grãos muito arredondados, deve-se optar por traços de 1:2 ou até 1:1,5.

No caso do paramento se encontrar húmido, exposto a ambientes extremamente húmidos, ou mesmo em constante contacto com água, como por exemplo de cisternas ou paredes de caves, opta-se por uma argamassa hidráulica, recorrendo a essa hidráulica em pozolanas naturais ou artificiais (Veiga, 2003, p. 29).

As três camadas referidas em conjunto, devem ter uma espessura entre quinze a trinta milímetros ou podem atingir os cinco centímetros, estando associado às próprias necessidades de carácter de protecção exterior e à própria irregularidade geométrica do suporte. “Em intervenções de reabilitação e de conservação de edifícios antigos começaram a ser utilizadas argamassas cujo único ligante é a cal hidratada, numa tentativa de melhor corresponder às exigências deste tipo de edifícios.” (Mateus, 2002, p. 35).

Estas argamassas poderão apresentar melhor compatibilidade química e mecânica com os suportes antigos. O interesse de realizar intervenções, em edifícios antigos com interesse histórico, veio incitar o uso de argamassas exclusivamente com base em cal aérea.

O mesmo autor considera que os rebocos, em geral devem permitir passar a menor quantidade de água possível, aderir bem ao suporte, manter por bastante tempo estas qualidades e principalmente, não fissurar.

Em argamassas, cujo o único ligante é a cal aérea, a questão coloca-se de forma diferente. Pois, a carbonatação do hidróxido de cálcio dá-se com alguma lentidão. Esta inicia-se à superfície do revestimento que se encontra em contacto directo com o ar e vai progressivamente para o seu interior, necessitando uma relativa porosidade da argamassa que permite a penetração do dióxido de carbono e a evaporação da água. De modo a reduzir a necessidade de porosidade, que mais tarde iria comprometer a qualidade do reboco, as argamassas de cal aérea devem ser aplicadas em finas camadas, com intervalos de tempo que possibilitem a carbonatação das camadas

anteriores. Estes períodos de tempo, entre camadas, devem ser considerados entre quinze a trinta dias (Mateus, 2002, p. 35).

7.2. PAREDES INTERIORES

Nos edifícios antigos as paredes cumprem frequentemente um papel estrutural de relevo, uma vez que a arquitectura do edifício, a organização dos espaços e as limitações estruturais dos materiais disponíveis, conferem a todas as paredes uma inerente capacidade resistente. As paredes interiores não são responsáveis por aceitar directamente cargas axiais, embora estejam encarregues de fechar estruturalmente o conjunto do edifício na ocorrência de um sismo, a par com os pavimentos e a cobertura (Appleton, 2003, p. 48).

A parede divisória é aquela que cumpre a função de compartimentar espaços dentro do edifício, “[...] a sua função estrutural é teoricamente nula, [...]” (Appleton, 2003, p. 53), sendo-lhe refutada quaisquer responsabilidades de resistência estrutural. Estas paredes apresentam uma grande variedade de soluções, sempre construtivamente ligadas à raiz cultural da região e de materiais disponíveis (Ilustração 18 e 19). O mesmo sucede com a construção de paredes à base de blocos de argila cozida ao sol, o adobe. Este processo era muito utilizado em regiões ricas em barros, e da taipa à base de terra seleccionada, construtivamente adoptada em zonas com escassez de pedra. Existiam, também soluções que por todo o País eram constantemente utilizadas, com poucas variações, o caso dos tabique de madeira (Appleton, 2003, p. 53).



Ilustração 18 – Parede divisória de madeira e tijolo. Mosteiro de Tibães, Braga. (Ilustração nossa, 2010)



Ilustração 19 – Parede divisória de madeira e cana. Tavira. (Ilustração nossa 2009)

7.2.1. REBOCO INTERIOR

A execução de rebocos de argamassa em paramentos interiores, era frequentemente executada do mesmo modo que nas paredes exteriores, no entanto o fenómeno de fendilhação assume um papel de menor importância (Appleton, 2003, p. 58).

De um modo geral, o recurso a revestimentos de textura mais fina era muito utilizado, o que poderia ser facilmente conseguido através da selecção da granulometria dos materiais e da areia, em particular, ou então recorrendo a materiais de revestimento específico de interiores. É o caso dos estuques com argamassas de cal e gesso, ou somente gesso (Appleton, 2003, p. 58).

8. ARGAMASSAS E BETÕES

A cal é usualmente utilizada em argamassas de assentamento de alvenarias, betonilhas de regularização e revestimentos de interior e exterior de paramentos. Sendo um material que goza de elevada versatilidade, a cal pode ser utilizada como o único ligante ou misturado com outros ligantes aéreos como o gesso, ligantes hidráulicos como o cimento Portland ou até com aditivos pozolanicos. Obtendo-se uma argamassa com boa trabalhabilidade e plasticidade inicial e após o endurecimento uma certa rigidez.

No fabrico de abobadilhas, blocos e outros sistemas pré-fabricados concebidos à base de cimento, a cal pode ser utilizada de modo a diminuir o consumo de cimento.

Os blocos de silico-calcários destinados à execução de alvenarias²², são constituídos pela mistura de cal, água e areia siliciosa que posteriormente são curados com vapor de alta pressão em autoclave.

Embora a sílica seja considerado um material inerte, uma vez submetida a determinadas condições de temperatura e de pressão, esta vai reagir quimicamente com o hidróxido de cálcio existente na cal para formar fases estáveis do tipo CSH .

A cal utilizada para a execução destes blocos silico-calcários deve conter elevada percentagem de CaO que já se encontre no estado hidratada, de modo a conferir ao bloco elevada resistência mecânica permitindo-lhes executar funções estruturais.

O betão celular foi descoberto no ano 1914 pelo Sueco Johann Axel Arikson, é obtido quimicamente da mistura de cal, cimento portland, areia siliciosa e pó de alumínio.

No início do século XX a cal hidratada era utilizada como aditivo no fabrico de betões, uma vez que possibilitava reduzir a permeabilização dos betões (Coelho [et. al.], 2009, p. 50).

8.1. AGREGADOS

Tradicionalmente o agregado mais utilizado foi a areia. A sua proveniência pode alterar consoante a oferta. Podemos adquirir areia extraída de mina, de areeiro, de rio ou mar. No fabrico de betões, para além de areia eram frequentemente adicionados à

²² Inventados em 1880, pelo químico Alemão Wilhelm Michaelis.

mistura lascas de pedra, pedaços de tijolo ou de telhas ou até mesmo fragmentos de argamassas de reutilização (Mateus, 2002, p. 193).

8.1.1. AREIA

Conhecida pelos Persas e Cartagineses, a argamassa de cal e areia, só foi utilizada na Europa pelo Império Romano. A areia era conhecida não só por, moderar a retracção da cal aérea durante o processo de presa, evitando a fendilhação, por conferir às argamassas resistência à compressão, mas também pelo facto de aumentar à argamassa uma porosidade mais generosa, factor que permitia a penetração de ar (Mateus, 2002, p. 193).

A acção de inerte das argamassas hidráulicas, segundo Vicat, era fundamentada como necessária à divisão da pasta de cal em zonas em que a água pudesse penetrar e permitir as reacções de formação dos silicatos de alumínio e de cálcio. A par com a necessidade de garantir uma boa cal, a boa qualidade da areia era fundamental para a obtenção de uma boa argamassa. “A garantia da qualidade da areia era tão importante como a garantia da boa qualidade da cal [...]” (Mateus, 2002, p. 193). A escolha acertada da melhor areia para a argamassa insidre na sua limpeza, preparação e na separação em granulometrias diversas.

As principais propriedades usadas para a distinção das areias consistiam na sua semelhança com pedras conhecidas, a sua origem, a dimensão dos seus grãos e a cor.

A granulometria da areia era escolhida consoante o fim a que se destinava a argamassa. As areias grossas eram utilizadas com cal gorda para a execução de alvenarias irregulares, uma vez que, toleravam juntas com espessuras na ordem de um a dois centímetros. No caso de se executar uma alvenaria de pedra talhada e assentamento de cantarias, optava-se por uma areia que permitisse maior contacto entre as peças, consequentemente uma areia mais fina, juntas de um a três milímetros (Mateus, 2002, p. 193).

8.1.2. BRITAS

A região onde se construía era fundamental para a utilização das pedras, sendo quase sempre utilizadas pedras da região. No entanto era elementar a selecção das pedras mais duras obtidas nas pedreiras, como pedras siliciosas e quartzosas, o sílex os basaltos e os granitos. Eram evitadas pedras ricas em argila e que conferissem pouca resistência ao gelo e degelo.

Os fragmentos após a preparação, separação por granulometria e a limpeza de substâncias finas e detritos, eram classificados pelo menos em três categorias, britas grossas, britas médias e britas finas.

O pó de mármore, resultante da moagem de fragmentos é utilizado actualmente na execução de rebocos. A sua granulometria tolera espessuras na ordem de meio milímetro (Mateus, 2002, p. 196).

8.1.3. ÁGUA

Uma boa água utilizada na amassadura confere à argamassa uma qualidade superior. Assim sendo, os primeiros tratados de construção indicavam as regras tradicionais destinadas à escolha de uma boa água. Eram regras que primavam pelo saber empírico e que foram a partir do século XVIII traduzidas em linguagem científica. Começou a ser testado qual o papel dos sais dissolvidos na água de amassadura e a argamassa final.

Com o constante aperfeiçoamento científico durante o século XVIII, através de análises químicas da água, começaram-se a tecer regras de construção, todavia era exigido o mesmo, a utilização de água sem sais expansivos. Actualmente o teor de cloretos das argamassas é controlado pela norma europeia EN 1010-17²³, com possível aplicação em argamassas à base de cal (Mateus, 2002, p. 191).

8.2. CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS ANTIGAS

Deve ser realizada previamente uma inspecção dos materiais a restaurar antes de se proceder a qualquer tipo de trabalho de restauro, uma vez que este tipo de alvenarias

²³ Methods of test for mortar for masonry. Part 17: Determination of water-soluble chloride content of fresh mortars.

são caracterizadas por serem irregulares, o que leva a que o reboco adopte espessuras bastante irregulares (Ilustração 20) ao longo da superfície (Coelho [et. al.], 2009, p. 96).



Ilustração 20 – Reboco destacado do suporte, Castro Marim. (Ilustração nossa, 2011)

Para além do valor histórico e técnicas construtivas empregues, surge a questão da compatibilidade dos materiais utilizados no restauro (Ilustração 21). Materiais com diferentes comportamentos mecânicos e físico-químicos conduziram o restauro mais cedo ou mais tarde a situações de péssimo desempenho (Coelho [et. al.], 2009, p. 96).



Ilustração 21 – Revestimento desadequado em edifício, Manteigas. (Ilustração nossa 2011)

Materiais com distintos módulos de elasticidade, permeabilidades, níveis de aderência, níveis de absorção de água ou até com fibras vegetais ou animais, inviabilizam uma boa solução de reabilitação, dando origem ao aparecimento de patologias (Coelho [et. al.], 2009, p. 96).

8.3. APLICAÇÃO DAS ARGAMASSAS

A correcta aplicação da argamassa requer tanta importância como a própria selecção dos materiais da argamassa e seu traço, tornando-se imprescindível a sua aplicação por mão-de-obra qualificada. A par destes cuidados, torna-se também conveniente preparar o suporte para receber em perfeitas condições a nova argamassa de revestimento (Cavaco apud Coelho [et. al.], 2009, p. 116).

Em alvenarias de pedra irregular ou antigas, procede-se à lavagem e escovagem do paramento, de modo a limpar os fragmentos soltos e poeiras. Segue-se o enchimento das reentrâncias com casquilho de tijolo ou telha ou cascalho envolvido em argamassa, idêntica à utilizada no assentamento das próprias paredes. Desta forma, evitam-se grandes variações na espessura da primeira camada e criam-se zonas de encaixe que facilitam a ligação.

Posteriormente a estas argamassas de preparação do suporte estarem bem secas é que se iniciam as operações de aplicação dos revestimentos propriamente ditos. Este processo é executado do interior para o exterior do edifício e de cima para baixo (Veiga, 2003, p. 32).

- Primeiro passo – Remover o reboco existente que apresente fissuração ou com indícios de patologia.

- Segundo passo – Proceder à remoção de impurezas no suporte e se necessário realizar encasque de enchimento em zonas onde se detectem depressões, garantindo desta forma que a superfície do suporte fique o mais regular possível.

- Terceiro passo – Caso se detecte a existência de sais no suporte, deve proceder-se à sua remoção utilizando água preferencialmente tépida, com o mínimo de pressão e caudal, do topo do edifício para a base escovando cuidadosamente com uma escova de nylon suave.

- Quarto passo – Humedecer o suporte com o mínimo de água possível de modo a que se possa garantir que a argamassa se fixe ao suporte.
- Quinto passo – A amassadura pode ser realizada manualmente ou com o auxílio mecânico de betoneira ou outro equipamento válido para a operação.
- Sexto passo – Projectar manualmente e com força a argamassa, comprimir a mesma com o auxílio da colher, garantindo que se fixe bem ao suporte de modo uniforme.
- Sétimo passo – Aplicar a argamassa em várias camadas finas, permitindo mais facilmente que a última camada endureça por carbonatação e esteja em condições de receber a próxima camada, o tempo entre camadas nunca dever ser inferior a uma semana.
- Oitavo passo – Proteger o reboco da exposição solar de modo a evitar a sua secagem demasiado rápida. Também se deve proteger da acção da água de modo a não interferir com o processo de carbonatação.

Se estivermos perante uma argamassa de cal com pozolanas, é fundamental seguir os passos acima referidos, principalmente o facto de manter o revestimento húmido nos dias iniciais de modo a facilitar a reacção pozolanica.

O paramento era humedecido entre a aplicação de cada camada.

Em construções mais cuidadas é utilizada a técnica de pontos e mestras, aplicam-se porções de gesso em fiadas verticais (pontos), com um afastamento de cerca de dois metros na horizontal e vertical, com uma espessura aproximada da pretendida para o revestimento. Aplica-se de seguida o reboco com a colher, retirando a argamassa excedente com o auxílio de uma régua que trabalha sobre as mestras. Os revestimentos devem garantir boa impermeabilização, são batidos e apertados de modo a conferirem boa compactação. Os rebocos aplicados em subcamadas, podem receber logo o acabamento final, seguindo técnicas muito diversas e originando texturas muito variadas ou receber um barramento ou guarnecimento, também em várias camadas aplicadas à talocha (Veiga, 2003, p. 32).

8.4. ARGAMASSAS DE RESTAURO À BASE DE CAL

Deverá proceder-se à realização de um estudo, com o intuito de identificar a composição da argamassa que constituiu o revestimento original do paramento e as suas propriedades quer físicas, quer mecânicas. Só posteriormente a este processo, estamos em condições de projectar as características da argamassa a ser utilizada no restauro e realizar a análise da compatibilidade entre ambas (Coelho [et. al.], 2009, p. 108).

9. CARACTERÍSTICAS DAS ARGAMASSAS

9.1. POROSIDADE, CAPILARIDADE E IMPERMEABILIZAÇÃO AO VAPOR

A durabilidade das argamassas de cal está, segundo alguns autores, relacionada com a sua porometria e estrutura porosa, relacionando-a com capacidade de absorção e libertação dessa mesma água. Tornando-se imperativo, quer para a longevidade da argamassa, quer para a própria salubridade do espaço, que o reboco tenha uma boa capacidade de evaporação de água provinda do interior para o exterior e que seja impermeável do exterior para o interior (Coelho [et. al.], 2009, p. 86).

9.2. RESISTÊNCIA À ACÇÃO DE SAIS SOLÚVEIS

Partindo do princípio que o reboco é desenvolvido para protecção do paramento, seja qual for a sua constituição, este deverá ser resistente à acção dos sais solúveis, nomeadamente aos cloretos e aos sulfatos.



Ilustração 22 – Paredes exteriores com elevado nível de degradação, Tavira. (Ilustração nossa 2010)

Estes sais são causadores de patologias ao nível estrutural do reboco levando-os à rápida degradação (Ilustração 22) e consequente falha funcional do mesmo, desprovendo o suporte aos elementos proporcionando outros tipos de anomalias e degradação (Coelho [et. al.], 2009, p. 90).

9.3. RETENÇÃO DE ÁGUA

A retenção de água consiste na capacidade que um material possui evitando a perda excessiva de água de amassadura da argamassa, por sucção, para o suporte. Esta propriedade é bastante importante pois prolonga o estado plástico da argamassa fresca, possibilitando um aumento de produtividade da mão-de-obra.

Green et al. (1999) verificaram em argamassas de cal, uma elevada capacidade de retenção de água, quando comparadas com argamassas de cimento. Concluíram ainda, que se adicionada à argamassa de cal um porção de cimento, a capacidade retenção dessa argamassa era diminuída proporcionalmente.

Outros estudos foram desenvolvidos recaindo na problemática dos inertes em argamassas à base de cal, concluindo que a utilização de agregados britados, em comparação com agregados de origem fluvial, possuíam menor capacidade de retenção de água (Coelho [et. al.], 2009, p. 77).



Ilustração 23 – Paramento sem exposição solar directa em ambiente húmido, Monte, Ilha da Madeira.
(Ilustração nossa 2011)

9.4. RETRACÇÃO

Inversamente à retenção, a retracção consiste na diminuição de volume da argamassa, quer seja por evaporação de água da amassadura quer por fenómenos relacionados com a carbonatação do ligante. A retracção condiciona de modo decisivo a durabilidade de uma argamassa, dando origem a fissuração, actuando de forma negativa para o bom desempenho de uma argamassa. A verificação da qualidade de

uma argamassa face à retracção pode ser realizada de duas formas, retracção livre, isto é, na medição de variação das dimensões da argamassa em provetes, ou retracção restringida, que consiste na observação da existência ou não de fendilhação num reboco após a sua aplicação num suporte previamente preparado.

Para uma argamassa de cal aérea com um traço 1:2, verifica-se que a retracção linear aumenta com o tempo de extinção da cal. Sugerindo que argamassas de cal com um tempo de extinção de dezasseis meses apresentam quase metade da retracção de argamassas comerciais realizadas com cal hidratada (Coelho [et. al.], 2009, p. 78).

9.5. DURABILIDADE DOS REVESTIMENTOS

Os revestimentos constituídos por argamassas de cal, ou outro ligante, desenvolvem um papel de protecção, considerados como camadas de sacrifício. As intervenções em edificado antigo, embora por um lado se destinem a preservar os elementos mais antigos, devem garantir essa protecção o mais tempo possível (Ilustração 24). “[...] os revestimentos de substituição e os revestimentos sujeitos a tratamento de consolidação devem ter alguma durabilidade, sob a pena de ser tornarem economicamente inviáveis.” (Veiga, 2003, p. 90).



Ilustração 24 – Incompatibilidade entre o material de suporte e revestimento agrava o aparecimento de patologias, Porto da Cruz, Ilha da Madeira. (Ilustração nossa 2011)

A camada de revestimento é fundamental para a durabilidade do paramento e conforto no interior. Assim, torna-se necessário intervir neste elemento quando este apresenta

sinais de degradação que possam comprometer os seus requisitos. No caso de um revestimento descolar do seu suporte, sem que esteja fissurado, a sua substituição torna-se dispensável, uma vez que, este ainda desempenha a função de “pele”, levando a gastos desnecessários (Ilustração 25).



Ilustração 25 – Reboco com falta de manutenção, Castro Marim. (Ilustração nossa 2011)

10. EXECUÇÃO E REVESTIMENTO DE PARAMENTOS COM ARGAMASSAS DE CAL

10.1. TABIQUE

A sua vertente económica face à economia de materiais e de execução, aliado ao baixo peso, pouca espessura e boa modelação, foi-lhe sempre reconhecido, sendo por isso a solução adoptada para a construção de paredes divisórias interiores.



Ilustração 26 – Estrutura de madeira de uma parede de tabique. Reabilitação de edifícios antigos.
(Appleton, 2003, p. 32)

Este processo construtivo de paredes interiores, consistia na pregagem de um fasquiado sobre tábuas colocadas verticalmente (Ilustração 26), sendo posteriormente revestido, em ambas as faces, com reboco de argamassas de cal e saibro ou com barro (Appleton, 2003, p. 59). “[...] tabiques característicos da construção pombalina, mas cuja divulgação foi muito generalizada, em todo o País, na construção rural e urbana, erudita e popular, [...]” (Appleton, 2003, p. 54).

10.1.1. REBOCO EM FASQUIADO DE MADEIRA

A execução de rebocos em paredes de alvenaria que incorporem elementos de madeira ou fasquiados de madeira em tabiques, merece uma chamada de atenção muito particular, segundo Appleton (2003, p. 59). Pois, a interacção de materiais com comportamentos mecânicos bastante distintos, deve ser levado com bastante consideração. Os diferentes módulos de elasticidade e coeficientes de retracção, entre

outros, são factores que criaram dificuldades adicionais nesta ligação. A técnica mais utilizada, no caso de peças de madeira em paredes de alvenaria, consistia em criar endentagens na superfície da madeira, disponibilizando um conjunto de conectores de madeira, com os quais se mobilizavam resistências ao corte fundamentais para uma aderência adequada (Ilustração 27). Em complemento, ou em alternativa a esta solução procedia-se à pregagem dos elementos de madeira, deixando saliente a cabeça do prego. Desta forma, os diversos pregos iram desenvolver uma estrutura bastante própria na qual a argamassa se pudesse fixar.

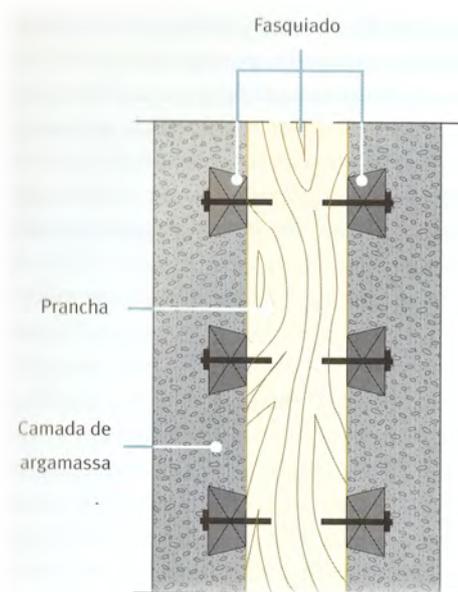


Ilustração 27 –Tabique de madeira com revestimento sobre fasquiado. Reabilitação de edifícios antigos. (Appleton, 2003, p. 55)

Em tabiques de madeira, a própria configuração do fasquiado e o conseqüente método de aplicação, contribuem para a eficiência da ligação entre a argamassa de reboco e o suporte. Este fasquiado, era geralmente de secção trapezoidal, seria portanto pregado sobre as pranchas do tabique pela face menor, criando espaços com cerca de cinco centímetros (Appleton, 2003, p. 59).

10.2. TAIPA

Designam-se por construção em taipa pois recorre-se ao uso de taipais para a sua concretização. Aos taipais incute-lhe a função de delimitar os volumes de terra a compactar e moldar o volume da parede (Ilustração 28).

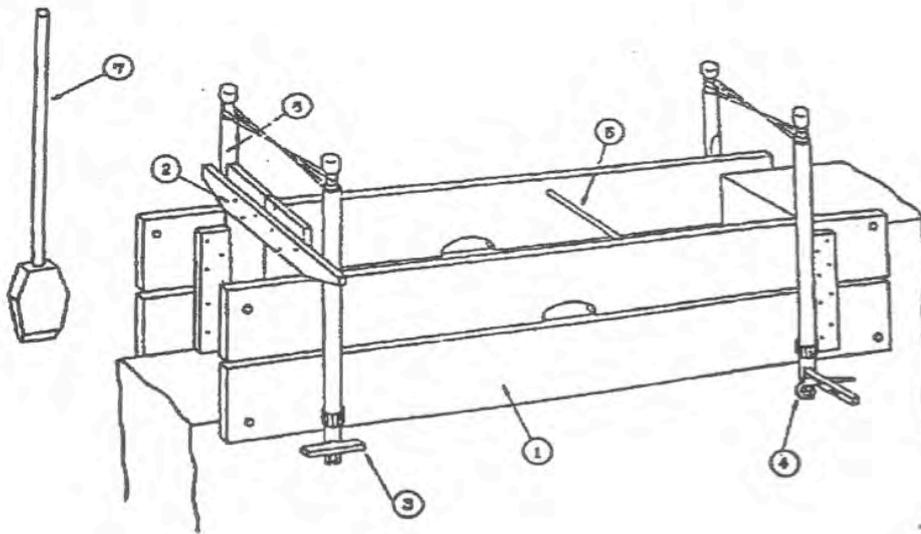


Ilustração 28 – Sistema tradicional de taipais para compactação de bloco de taipa. Caracterização de revestimentos usados em construções de taipa no barlavento algarvio. (Mateus, 2006, p. 17)

Legenda: 1. taipal ou enxamel; 2. frontal; 3. agulhas; 4. alfinetes; 5. Costeiros; cõvados; 7. malho

Este processo construtivo recorreu, essencialmente a matérias primas do local onde eram edificadas e sofriam inevitavelmente de adaptações aos métodos construtivos de região para região, uma vez que existem alterações incontornáveis a nível dos materiais aplicados – terra, água, fibras naturais, agregados, ligantes entre outros (Mateus, 2006, p. 14).

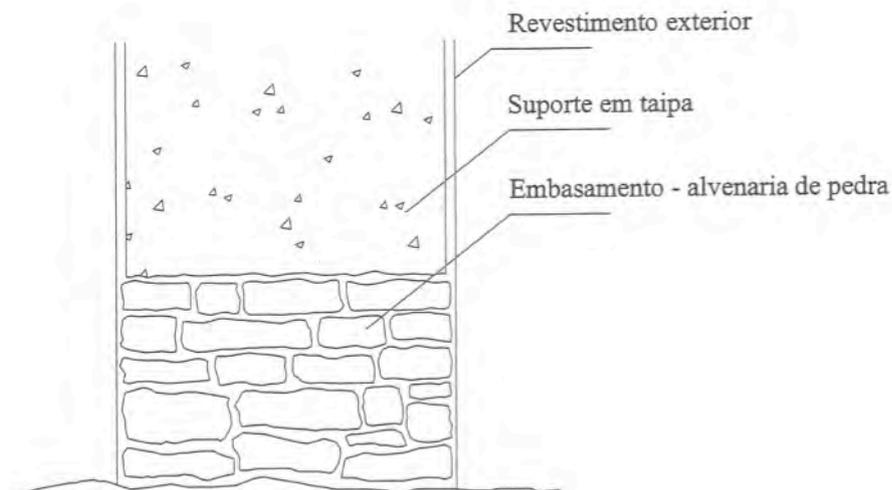


Ilustração 29 – Sistema típico de ligação da parede de taipa ao solo de fundação. Caracterização de revestimentos usados em construções de taipa no barlavento algarvio. (Mateus, 2006, p. 16)

A especificidade do revestimento e do próprio suporte, condicionam a durabilidade e o próprio comportamento da parede exterior. Factores como o nível de manutenção, exposição ambiental, uso, são variáveis a considerar na análise de cada construção a nível individual.

A zona corrente de uma parede em taipa é constituída por embasamento (quando existente), paredes de blocos de taipa, reboco e revestimento de protecção.

Sempre que possível constrói-se a parede em taipa assente num embasamento, pois este irá assentar directamente no solo e tem como principais funções definir a implantação das paredes, impedir que a terra que modela a parede seja fustigada por infiltrações providas do solo e ao mesmo tempo nivelar a estrutura (Ilustração 29). Este processo, varia em altura entre trinta centímetros e um metro e é composto por alvenaria de pedra argamassada, estes blocos devem ser de fácil transporte e recolhidos no próprio local.

Em estruturas rurais ou mais antigas, o embasamento pode ser construído de modo diferente, recorrendo-se a materiais de taipa com inclusão de uma maior percentagem de agregados grossos.

A terra utilizada na construção deve garantir características de composição e de granulometria de modo a possuir uma boa compacidade e coesão após a compactação, a par com a capacidade de deformação, dando resposta a variações térmicas ou de teor de humidade, conferida pelos agregados inclusos e juntas de ligação entre os blocos (Mateus, 2006, p. 17).

A incorporação da cal na mistura a compactar, seria o método mais comum de conferir maior resistência mecânica, maior coesão interna e resistência à abrasão superficial, de controlar as variações volumétricas provocadas pela variação do teor de humidade e de reduzir a susceptibilidade à acção da água pela redução da porosidade da mistura após a devida compactação, secagem e carbonatação da cal incorporada (Mateus, 2006, p. 18).

O sistema provisório de cofragem é composto tradicionalmente por um par de taipais de madeira de pinho, as suas dimensões mais frequentes eram de um metro e setenta por cinquenta centímetros (Mateus, 2006, p. 23).

Os taipais assentam sobre agulhas colocadas nas extremidades do taipal, as quais são geralmente constituídas por secção quadrada, cujas extremidades possibilitam a proximidade dos taipais. A compactação de cada camada só está concluída quando se verifica uma película de nata de coloração castanha à superfície ou quando se constatar uma relativa vibração nos taipais, conforme o dito popular “*quando a taipa cantar*”. O tempo de execução relativo ao processo de transporte e compactação das camadas de terra, deve ser extenso, dando possibilidade de compactar o mais possível cada camada. Um dito popular expressa esta necessidade dizendo que: “[...] para se fazer uma boa taipa, a terra deve ser carregada por um coxo e batida por um doido.” (Mateus, 2006, p. 26).

Ao nível da cobertura deve ser considerado um beirado que permita a evacuação das águas pluviais de maneira a que a descarga incida o mais perto da base da parede possível. Este processo previne a infiltração de água no suporte, aumentando a sua durabilidade.

10.2.1. REVESTIMENTO EXTERIOR EM PAREDES DE TAIPA

O revestimento exterior em paredes de taipa não é obrigatório, porém é bastante conveniente. Em Portugal existem várias situações em que não foram aplicados quaisquer tipo de revestimento de protecção exterior. Este factor pode dever-se a diversas circunstâncias distintas, pela utilização da construção, a durabilidade que se pretende para a construção, a maior ou menor exposição aos agentes atmosféricos ou meramente por factores estéticos (Mateus, 2006, p. 26).

O material constituinte destas paredes, a terra, caracteriza-se pelo seu elevado grau de durabilidade. Porém, a terra compactada só pode garantir a função de suporte enquanto for assegurada a sua integridade e a sua geometria inicial, à qual fica associada uma compacidade necessária à estabilidade das paredes. Quando ocorrem alterações nos revestimentos e a entrada de água é permitida, toda a consistência interna da parede fica comprometida. Neste domínio, o papel do revestimento exterior assume um compromisso inquestionável, directamente responsável pela durabilidade da estrutura. Assim este deverá funcionar como uma protecção física do suporte em taipa, não promover a degradação do suporte causado por incompatibilidade física ou química entre materiais e garantir a durabilidade do sistema de revestimento.

O sistema de revestimento aplicado sobre um suporte de terra, em termos funcionais deverá gozar de boa aderência ao suporte, impermeabilizar a parede de taipa pelo exterior e permeável ao vapor de água vindo do interior.

A incompatibilidade física e química do revestimento aplicado e a parede de taipa, na prática, traduzem-se em despromover condições que gerem tensões excessivas no suporte resultantes da aplicação de um material de revestimento mecanicamente mais forte sobre um relativamente mais fraco. A influência negativa que este revestimento dificulta a respiração do suporte e a necessária secagem de humidades infiltradas (Mateus, 2006, p. 28).

É ao nível da compatibilidade mecânica, física e química entre o material de revestimento e o de suporte, que reside o compromisso mais difícil. Pois, é ideal que a resistência à compressão e flexão sejam inferiores às do suporte em terra. No entanto, as variações dimensionais que ocorrem no suporte, por causa de diferenciais térmicos ou de humidade, induzem tensões nos revestimentos, cuja capacidade de deformação não garante, na maioria das vezes, evitar a fissuração e destacamento (Mateus, 2006, p. 30).

Os revestimentos, para serem compatíveis com o material terra constituinte do suporte, devem ter um módulo de elasticidade igual ou inferior, resistências à flexão e compressão iguais ou menores do que as do suporte, garantir permeabilidade ao vapor de água de modo igual ou superior à do suporte, o menor teor de sais possíveis, trabalhabilidade satisfatória com o mínimo de adição de água possível, baixo nível de retracção e variações dimensionais compatíveis com as do suporte.

Terminado o processo de compactação da terra dentro dos taipais, torna-se determinante garantir ao suporte uma textura superficial adequada para receber o revestimento. Um dos processos utilizados, consiste em permitir a incidência das águas pluviais nos paramentos exteriores durante um período de um ou dois invernos. Este processo possibilita realizar uma lavagem dos finos à superfície, acentuando a rugosidade superficial expondo os agregados mais grossos cuja a absorção de água é menos do que o material terra. Posteriormente, este processo pode ser optimizado com a escovagem manual ou picagem da superfície da taipa exposta. Pode-se ainda atribuir maior densidade de juntas argamassadas entre fiadas de terra compactada, conseguindo uma maior capacidade de aderência ao material de revestimento aplicado (Mateus, 2006, p. 30).

Os rebocos de argamassa de cal aérea e areia ou barro e areia, eram tradicionalmente aplicados neste tipo de paredes (Mateus, 2006, p. 31).

As argamassas de cal aérea e areia devem ser compostas maioritariamente por cal, como único ligante ou adicionando pó de tijolo ou outros compostos pozolanicos, conferindo-lhe hidraulicidade. Pois, as argamassas em que o único ligante é a cal aérea sofrem de um processo de endurecimento bastante lento, por fixação de CO₂, este processo é retardado na presença de humidades relativas elevadas ou na própria presença da água.

Estas argamassas gozam de módulos de elasticidade e níveis de resistência baixos, uma vez que são compatíveis com este tipo de suportes constituídos por terra.

O revestimento aplicado num suporte de taipa, pode adquirir diferentes espessuras, oscila entre quinze e trinta milímetros, em camadas sucessivas que podem variar entre duas a três ou simplesmente formado por uma única camada para uma espessura global (Mateus, 2006, p. 32).

Antes da aplicação da primeira camada do revestimento, o suporte de taipa deve ser molhado sem que atinja a saturação, de modo a reduzir a absorção da água de amassadura constituinte do próprio revestimento.

Era aplicada, por vezes, uma fina camada rica em cal sobre o suporte, sucedida pelas camadas seguintes as quais só seriam aplicadas depois da retracção e secagem da camada inicial.

O revestimento deve ser aplicado em faixas horizontais e com uma altura máxima desejada de dois metros, garantindo que o trabalhador consiga uma aplicação rápida e eficiente (Mateus, 2006, p. 33).

10.3. ADOBE

A designação abode deriva do Árabe “*attob*”²⁴. Deste modo podemos calcular que esta técnica construtiva chegou à nossa península através deste povo durante a sua ocupação. No Sul do território português é frequente encontrar edificados concebidos

²⁴ Tijolo seco ao Sol.

segundo esta técnica que ainda se encontram em razoáveis condições de conservação (Coelho [et. al.], 2009, p. 62).



Ilustração 30 – Blocos de adobe com adição de palha (Miguel, 2008, p. 7)



Ilustração 31 – Blocos de adobe a secar (Miguel, 2008, p. 8)



Ilustração 32 – Edifícios construídos em adobe (Guimarães, 2009, p. 33)

Embora se trate de um material que possibilita uma construção sustentável, permitindo também que o interior das casas fique muito fresco, suportando bem altas temperaturas, a relativa fraca resistência face à humidade provinda do solo, por capilaridade, exige que a alvenaria de adobe seja executada sobre uma fundação em alvenaria de pedra. Este embasamento serve não só como isolante mas também assume funções de regularização de cotas. A alvenaria de adobe é executada tendo em conta, as diferentes espessuras dos blocos, a geometria dos mesmos e principalmente a sua disposição.



Ilustração 33 – Parede de adobe. Mourão. (Ilustração nossa, 2010)

Os blocos de adobe são assentes à meia vez, a uma vez ou a duas vezes, numa fundação de pedra ou mesmo em betão armado, a sua espessura é calculada segundo a função da referida parede.

A construção de adobe deve ser feita no período seco. As paredes de adobe eram construídas segundo os mesmos princípios para o tijolo, embora na sua grande maioria ser apenas empregue em construções pobres, ou em locais de terreno arenoso onde, porventura, o acesso a outros materiais era mais difícil. Visto tratar-se de uma técnica que exige algum consumo de água, esta era geralmente executada em locais próximos de cursos de água.

Posteriormente à moldagem dos blocos de adobe (Ilustração 30), estes ficam a secar ao ar livre (Ilustração 31). Caso se pretenda um adobe de melhor qualidade a secagem deve ser realizada em ambiente coberto, permitindo que haja uma perda gradual da água (Coelho [et. al.], 2009, p. 63).

A variante moderna dos antigos blocos de adobe, são os BTC. Em Portugal esta técnica construtiva não se fez sentir de forma muito expressiva, no entanto veio-se a constatar uma crescente adesão. Está associada a uma enorme carga de sustentabilidade e melhor desempenho face ao seu antecessor, o adobe (Coelho [et. al.], 2009, p. 65).

10.3.1. REVESTIMENTO EM PAREDES DE ADOBE

A construção do paramento em adobe é realizado de forma semelhante à alvenaria tradicional com tijolos de barro cozido. Para revestir e tratar o adobe devem ser utilizados rebocos à base de argamassas de cal, ou por intermédio de uma caição directa sobre o adobe com o intuito de o proteger das acções climáticas, nomeadamente da água das chuvas (Miguel, 2008, p. 8).

11. REVESTIMENTOS DE PAREDES COM CAL

Em Portugal, é frequentemente utilizado o revestimento de paredes rebocadas por intermédio de pintura. Sendo uma camada superficial, regula todas as trocas de humidade entre o interior do paramento e o exterior. Por isso, pode agravar a ocorrência e intensidade de anomalias devido à presença de humidade. Apesar da humidade estar na proveniência de uma percentagem significativa da maioria das anomalias, em especial nos edifícios de construção antiga, o comportamento dos revestimentos por pintura não é habitualmente medido sob este aspecto (Brito, 2009, p. 1).



Ilustração 34 – Vista sobre Sanlúcar de Guadiana. (ilustração nossa, 2010)

Os revestimentos de paramentos devem facilitar a difusão do vapor de água, para que tal ocorra, é fundamental que a tinta possua boa capacidade de impermeabilização ao vapor, visando garantir o dito “respiro” dos paramentos.

Os revestimentos por pintura ao longo dos tempos, têm sofrido algumas alterações a nível da evolução, porém, nem sempre se verifica como uma boa solução na reabilitação, dando origem a erros que iram agravar fortemente e intensificar as patologias existentes.

Em grande parte, os edifícios antigos apresentam revestimento de pintura à base de cal, sendo desde a Antiguidade a solução mais usada. Com o desenvolvimento de

novas técnicas e produção, podemos nos dias de hoje, encontrar à nossa disposição diversos tipos de tintas que os seus fabricantes aconselham com fins de reabilitação/conservação. Torna-se imperativo verificar qual o seu verdadeiro comportamento em suporte que tipicamente são utilizados em edifícios antigos, nomeadamente alvenarias rebocadas com argamassa de cal (Brito, 2009, p. 1).

11.1. REVESTIMENTOS POR PINTURA

Os revestimentos por pintura, tal como o nome sugere têm a capacidade de dar coloração à superfície sobre a qual são aplicados. Apesar da sua principal finalidade, também desempenham funções de protecção do substrato relativamente às agressões externas como o vento, a chuva ou o sol (Ilustração 35).



Ilustração 35 – Farol da Ponta do Pargo, Ilha da Madeira. (Ilustração nossa 2011)

Estes revestimentos de acordo com a norma NP 41 (IPQ 1982), a tinta:

[...] é uma composição pigmentada líquida, pastosa ou sólida que, quando aplicada em camada fina sobre uma superfície apropriada, no estado em que é fornecida ou após fusão, diluição ou dispersão em produtos voláteis, é conveniente ao fim de um certo tempo numa película sólida, corada e opaca.”

As tintas, em termos gerais, são constituídas por pigmentos, cargas, veículos²⁵ e aditivos. (Brito, 2009, p. 9)

11.1.1. PRIMÁRIOS

Os primários são na sua generalidade, com excepção aos pigmentos, produtos semelhantes. Aplicam-se antes da tinta de acabamento, garantindo por exemplo, boa aderência da tinta ou uniformizar a absorção (Brito, 2009, p. 9).

11.1.2. PIGMENTOS

Os pigmentos são normalmente formados por partículas sólidas e muito finas, podem ser oriundas de natureza inorgânica, extraídas de terra colorida, ou de natureza orgânica, extraídas de matéria animal ou vegetal. Têm como finalidade conferir à tinta coloração e opacidade (Brito, 2009, p. 9). “Os pigmentos devem ser cuidadosamente utilizados, no que se refere à sua natureza e dosagem.” (Portugal, 1999, p. 4)

Apenas os pigmentos inorgânicos são resistentes à cal, uma vez que esta ataca os materiais orgânicos. Dada a sua natureza cáustica, a cal em contacto com matéria orgânica irá queima-la. Sendo aconselhável o uso de pigmentos provenientes de terras naturais (Portugal, 1999, p. 4).

11.1.3. ACABAMENTOS E TEXTURAS

Os rebocos e superfícies de revestimentos podem ter diversos tipos de acabamentos e texturas, podem apresentar-se com efeito liso polido, riscado, raspado, tirolês, picado, escocês, entre outros (Ilustração36). Conferem ao paramento um aspecto variado, funcional e estético. Algumas destas texturas e acabamentos são ainda hoje muito utilizados no nosso País, contudo outras caíram em desuso, pela dificuldade de concretização, elevados custos de concepção ou morosidade de execução. Antigamente, eram executados com argamassas de cal e areia, no entanto passaram progressivamente a ser realizados com argamassas recorrendo ao cimento Portland.

²⁵ Fixo e volátil.



Ilustração 36 – Textura da caição, Ponta do Pargo, Ilha da Madeira. (Ilustração nossa, 2011)



Ilustração 37 – Acabamento em tons amarelo, Beja. (Ilustração nossa, 2010)



Ilustração 38 – Acabamento simples com faixas azuis, Piódão. (Ilustração nossa, 2010)



Ilustração 39 – Acabamento rosa velho a necessitar de manutenção, Tavira. (Ilustração nossa, 2011)

As caições podiam ser modificadas consoante a concentração do leite de cal, frequentemente aditivado com óleo, colas ou caseína. Mediante o desejado, representavam a solução mais simples e poderiam ser aplicadas a seco ou a fresco. As técnicas a fresco exigiam mão-de-obra especializada e com grande perícia, pois a sua aplicação tinha de ser realizada antes da secagem da base, resultando em cores mais vivas e durabilidade superior (Veiga, 2003, p. 33).



Ilustração 40 – Acabamento em amarelo e contornos cinza, Tavira. (Ilustração nossa, 2010)



Ilustração 41 – Acabamento em branco e contornos em amarelos, Évora. (Ilustração nossa, 2010)



Ilustração 42 – Acabamento em branco e contornos em azul, Mourão. (Ilustração nossa, 2009)



Ilustração 43 – Acabamento com faixas verticais amarelas e azuis, Tavira. (Ilustração nossa, 2010)



Ilustração 44 – Acabamento em branco e contornos em creme, Luz de Tavira. (Ilustração nossa, 2011)

12. ADIÇÕES NA CAIAÇÃO

12.1. ADIÇÕES TRADICIONAIS

No que se refere às adições antigamente empregues na caiação, existem referências à utilização de matérias diversas (Portugal, 1999, p. 4):

- Aceleradores da carbonatação da cal - cloreto de sódio, alúmen e cloreto de cálcio.
- Retenção ou dispersão de água - sabão em pó.
- Formação de películas – óleo de milho, de soja, de amendoim, de linhaça e de mamona.
- Formação de películas e propriedades aglutinantes – leite fermentado, leite desnatado, clara de ovo, goma arábica, cola de origem animal, cola branca, gelatina, amido de milho e caseína.
- Correcção de imperfeições e nivelantes – caulino, gesso e crê.
- Evitar secagem rápida – metilcelulose.
- Conservação da pintura quando esta inclui na sua composição matéria orgânica – sulfato da amónio, formaldeído e ácido bórico.

12.2. ADIÇÕES TRADICIONAIS APLICADAS NO PRESENTE

Actualmente estas adições devem ser realizadas com grande precaução, uma vez que foram desenvolvidas localmente e em diversas regiões. Em alguns casos específicos poderão surgir efeitos colaterais importantes. No caso de empregar à cal substâncias com propriedades aglutinantes, que permitam a formação de filme, podem originar a impermeabilização da superfície e por sua vez causar danos à construção, devido ao seu comportamento estanque.

Actualmente começou-se a utilizar resinas sintéticas como adição às pinturas de cal, de modo a aumentar a coesão interna e a aderência. Tal como as adições tradicionais, já referenciadas no ponto anterior, as adições de resinas deveram ser levadas em consideração e com precaução, pois mais uma vez, pode levar à impermeabilização incondicional da superfície e causar danos a longo prazo (Portugal, 1999, p. 5).

13. CARACTERÍSTICAS DO SUPORTE

13.1. POROSIDADE DO SUPORTE

Materiais de construção, tais como o tijolo, betão ou argamassas são designados como materiais porosos. Estes materiais caracterizam-se por conterem pequenos poros, sendo estes vazios preenchidos por fluídos, seja água, ar ou vapor de água. Os poros podem estar interligados entre si, formando uma estrutura contínua designada por porosidade aberta, ou podem distribuir-se isoladamente pelo material poroso, correspondendo à porosidade fechada. A deslocação de fluídos ocorre na rede interna de vazios interligados (Brito, 2009, p .5).

Tendo em consideração a dimensão e a influência dos poros no transporte de humidade, estes podem ser classificados em três tipos (Brito, 2009, p. 5):

- Microporos - poros de menor tamanho, uma vez que a água que possuem não consegue movimentar-se devido à força capilar existente, não têm influência no transporte de humidade.
- Mesoporos - poros de tamanho intermédio, designados também por poros capilares, pois através deles ocorre o transporte de água líquida.
- Macroporos - poros de maior tamanho, responsáveis pela migração do vapor de água.

13.2. CARACTERÍSTICAS HIGROSCÓPICAS

Na sua maioria os materiais porosos gozam de características higroscópicas. Esta característica atribui-se a materiais que têm a capacidade de atrair a água da atmosfera, sendo esta absorvida pela superfície dos poros. Esta capacidade traduz-se na formação de moléculas de água, cuja espessura aumenta o valor da humidade relativa existente. Com a variação da humidade da atmosfera, o teor de humidade higroscópica destes materiais também sofre variação, inclinando-se sempre para valores que correspondam ao equilíbrio higroscópico entre o material e a atmosfera envolvente (Brito, 2009, p. 5).

13.3. CAPILARIDADE

O transporte de água por capilaridade ocorre essencialmente em materiais porosos. Este processo corresponde à penetração de água líquida através dos mesoporos de um determinado material. Ocorrendo quando forças de atracção, entre o líquido e o material sólido, são mais intensas que as de coesão do líquido. Assim, o líquido forma um menisco côncavo e humedece o sólido, permitindo a migração da água no interior do capilar (Brito, 2009, p. 16).

Neste tipo materiais, o transporte de vapor de água pode ser designado como um processo de difusão, regido pela lei de Fick. Esta lei identifica que, sempre que um material esteja sujeito a ambientes com diferente humidade relativa, está sujeito a um gradiente de pressão de vapor, suceder-se-á migração do vapor de água dentro do próprio material, originando um fluxo que tende a uniformizar a concentração de vapor em ambos os ambientes. O sentido da migração do vapor de água ocorre sempre no sentido da maior para a menor pressão (Brito, 2009, p. 19).

13.4. INFLUÊNCIA DOS REVESTIMENTOS NA SECAGEM

De um modo geral, as paredes antigas são fisicamente concebidas com espessuras generosas e compostas por materiais porosos que permitem a absorção de água através das fundações causando o humedecimento das paredes através do fenómeno de capilaridade²⁶. Sendo a ascensão por capilaridade a origem mais comum da humidade em edifícios antigos, existem também outras situações que podem trazer para a construção a humidade, como acontece com as condensações ou fenómenos de hidrosopicidade²⁷, também comuns neste tipo de edifícios devido à presença de sais solúveis. Estes são alguns dos exemplos das principais razões que explicam o maior índice de aparecimento de humidade no edificado antigo (Brito, 2009, p. 26).

²⁶ Ver ponto 13.3, pág. 102 desta dissertação.

²⁷ Ver ponto 13.2, pág. 101 desta dissertação.

14. PINTURA COM CAL

14.1. CAIAÇÃO

As tintas compostas por cal, são consideradas como revestimentos inorgânicos constituídos por uma dispersão aquosa de cal apagada, assim como, aditivos que melhorem determinadas características da tinta e pigmentos usualmente de origem inorgânica.

Por se tratarem de revestimentos permeáveis ao vapor de água, apresentam uma elevada porosidade²⁸. A aplicação em rebocos de cal e areia são particularmente adequados, pois apresentam grande porosidade e rugosidade à superfície, beneficiando a aderência.

A tinta de cal foi durante bastante tempo utilizada no revestimento de paramentos de edifícios, sendo nos dias de hoje mais utilizada por questões estéticas ou de compatibilidade do suporte, frequentemente eleita em intervenções de reabilitação/conservação (Brito, 2009, p. 15).

Na extinção da cal viva e na confecção da pintura deve ser utilizada água potável, deste modo será anulado a introdução de substâncias como sais, matéria orgânica, entre outras, na solução de pintura (Portugal, 1999, p. 4).

14.2. APLICAÇÃO ACTUAL DAS CAIAÇÕES

A pintura de cal é obtida pela a utilização do leite de cal, o qual pode ser aplicado no seu estado puro ou com outros produtos que lhe confirmam melhores performances na pintura. Este pode ser aplicado em paramentos de pedra ou argamassa, normalmente aplicado em duas ou três demãos (Ilustração 45). No caso da aplicação ser executada em suportes de argamassa recentemente aplicada este processo pode exigir mais demãos, dependendo da coloração a aplicar.

²⁸ Ver ponto 13.1, pág. 101 desta dissertação.



Ilustração 45 – Textura da aplicação de várias demão, Sesimbra. (Ilustração nossa, 2010)

Uma boa pintura de cal exige técnica e paciência, ao contrário do que algumas pessoas possam pensar, não é fácil obter uma boa pintura de cal.



Ilustração 46 – Paramento de grandes dimensão. Montemor-o-Novo. (Ilustração nossa, 2010)

A aplicação deve ser executada com primor e devem ser empregues materiais de qualidade, de modo a aumentar a durabilidade da aplicação. Se se tratar de uma superfície de grandes dimensões (Ilustração 46), deve-se ter o cuidado de diminuir ao máximo as juntas de trabalho (Portugal, 1999, p. 3).

14.3. TIPO DE CAL PARA CAIAÇÃO

Considerar o tipo cal a utilizar torna-se importante na medida em que, esta irá condicionar directamente o tipo de coesão da camada micrométrica de carbonato de

cálcio que constitui a caiação. De um modo geral, é recomendável a utilização de cal aérea em pasta, bem extinta pelo método de imersão em água da cal viva, durante um período de tempo não inferior a um mês. A escolha de cal aérea hidratada em pó não é aconselhada, pois apresenta menor reactividade. Porém, tem vindo a notar-se a sua forte adesão em obra, uma vez que dispensa a operação de extinção da cal viva, e também pelo facto de ser mais fácil de acondicionar e transportar (Portugal, 1999, p. 3).

14.4. PREPARAÇÃO DO LEITE DE CAL

As recomendações a seguir apresentadas devem ser consideradas para revestimentos de paramentos interiores e exteriores. A metodologia de execução foi estabelecida segundo a bibliografia estudada (Portugal, 1999, p. 7 - 8).

- Primeiro passo – Bater bem a pasta de cal num recipiente, com o auxílio de uma batedeira, esta pode ser executada de forma mecânica ou manual, de modo a evitar a sua rigidez inicial.

- Segundo passo – Adicionar à pasta de cal água potável aos poucos, mexendo continuamente, até se atingir a proporção volumétrica de 1:2 (referente a uma de cal e duas de água). A solução resultante deve ter a consistência semelhante à do leite.

- Terceiro passo – Esta mistura deve ser convenientemente peneirada para um segundo recipiente, de modo a remover a presença de impurezas grosseiras e assim obter o dito “leite de cal”.

- Quarto passo – Em aplicações que não contemplem o uso de pigmento, a mistura deve ser peneirada novamente para o primeiro recipiente, após ter sido limpo convenientemente.

- Quinto passo – No caso da caiação recorrer ao uso de pigmento, deve-se separar a porção necessária de pigmento a usar.

- Sexto passo – O pigmento deve apresentar-se em pó fino e solto, caso não se verifique, este deve ser previamente bem macerado. No caso, de já se apresentar devidamente preparado, deve ser misturado com água quente, mexendo bem até atingir a homogeneização da mistura. Pode ser colocada num frasco fechado e agitado energicamente.

- Sétimo passo – Coloca-se no segundo recipiente a mistura de pigmento e água ao leite de cal, certificando que a solução resultante está bem misturada.

- Oitavo passo – Filtrar o leite de cal e pigmento com um tecido fino novamente para o primeiro recipiente, após este estar bem limpo.

14.4.1. APLICAÇÃO DO LEITE DE CAL

A aplicação do leite de cal deve cumprir algumas recomendações que seguidamente serão especificadas (Portugal, 1999, p. 9):

- Primeiro – A quantidade de leite de cal deve ser preparada de uma só vez, tendo em consideração a área de superfície a intervir, na qual deve levada em conta as arestas, vãos, cantarias e outros elementos de relevância.

- Segundo – O suporte deverá ser previamente humedecido com água de modo a não saturar o reboco.

- Terceiro – A aplicação da cal deve ser realizada com ferramentas apropriadas, caso de trinchas ou brochas. A aplicação de ser realizada com rapidez tendo em conta a preocupação de garantir que as ferramentas estão húmidas.

- Quarto – A caiação deverá ser realizada de forma a que cada demão seja aplicada em um ou mais planos inteiros, por forma a evitar a formação de juntas de trabalho.

- Quinto – Recomenda-se que sejam aplicadas as demãos que se verificarem necessárias, com o mínimo de três.

- Sexto – Cada demão deve ser intervalada, no mínimo, por um dia. Este procedimento garante que cada camada possa adquirir uma relativa resistência.

- Sétimo – Antes de iniciar cada demão, o paramento deve ser humedecido.

- Oitavo – O leite de cal que se encontra no recipiente, necessita ser agitado durante a aplicação, de modo a que a mistura esteja sempre uniforme.

- Nono – A absorção do suporte deve ser levada em consideração, no caso de ser composto por reboco de cal e areia, este condiciona a quantidade de leite de cal

que nele penetre e, conseqüentemente, a coloração final da superfície. As diferenças na estrutura porosa do reboco, podem influenciar o resultado final, conferindo à estrutura final do acabamento manchas, devido às diferentes capacidades de absorção do material de suporte.

14.5. PREPARAÇÃO DO SUPORTE

A preparação da superfície que irá receber o acabamento, deve apresentar-se isenta de poeiras, estar limpa, desprovida de materiais friáveis ou substâncias orgânicas. Quando a intervenção é aplicada em rebocos antigos, todo o material pulverulento e friável deve ser previamente removido da superfície do suporte com a utilização de uma escova de cerdas.

No caso do suporte apresentar sinais significativos de desenvolvimento bacteriológico, é aconselhável a aplicação de um produto biocida. Produto esse, que deve ser seleccionado tendo em conta a possibilidade de deixar resíduos que possam prejudicar a aderência do revestimento ou de introduzir no paramento substâncias potencialmente nocivas, tais como sais solúveis (Portugal, 1999, p. 8).

14.6. CONDIÇÕES AMBIENTAIS

A caiação não deverá ser realizada caso se verifique que a temperatura prevista para os primeiros dias após a aplicação seja elevada, sendo o valor máximo indicado de 30°C, vento quente, forte ou seco ou mesmo quando a superfície intervencionada esteja sujeita à exposição solar directa (Ilustração 49). Estes cuidados previnem a dissecação prematura da caiação, uma vez que, a rápida evaporação da água nesta estrutura resulta, frequentemente, numa caiação de má qualidade, com fraca coesão interna e conseqüente baixa fixação ao suporte.

A pintura de cal convém ser prolongada de modo a ocorrer durante uma época do ano, em que se preveja facilmente a não ocorrência de precipitação e elevada humidade relativa, preferencialmente pelo menos, quinze dias após a caiação.

A pintura fresca deve ser totalmente protegida da acção da chuva directa durante todo o processo de endurecimento. Neste caso, deve ter-se em linha de conta a humidade existente no ar, que irá retardar a fase de endurecimento dos materiais com base em

cal aérea, tal como o processo de carbonatação, originando um material com características de durabilidade e resistência inferiores (Portugal, 1999, p. 9 e 10).

14.7. MANUTENÇÃO DA PINTURA COM CAL

As camadas de caição a par com o reboco, desempenham um papel fundamental na conservação do paramento e ao mesmo tempo funcionam como elemento decorativo.



Ilustração 47 – Camadas de caição danificada, Sesimbra. (Ilustração nossa, 2010)

Sendo a pele do edifício trabalham como uma camada de sacrifício. Portanto, é fundamental preservar o seu bom estado de conservação, tornando-se necessário proceder a intervenções de reparação sempre que necessário.



Ilustração 48 – Camada de sacrifício completamente danificada, Castro Marim. (Ilustração nossa, 2010)

É imprescindível que esta seja executada por mão de obra qualificada e de forma sustentável, de modo a que intervenções futuras sejam apenas de caiação, evitando a degradação do reboco e consequente renovação prevenindo despesas desnecessárias (Sousa, 2005, p. 16).



Ilustração 49 – Pintura aplicada com incidência solar directa, Luz de Tavira. (Ilustração nossa, 2011)



Ilustração 50 – Descoloração dos pigmentos, Tavira. (Ilustração nossa, 2010)



Ilustração 51 – Retoque com pigmento diferente, Montemor-o-Novo. (Ilustração nossa, 2010)



Ilustração 52 – Retoque com pigmento diferente, Monte, Ilha da Madeira. (Ilustração nossa, 2010)



Ilustração 53 – Manchas nos paramentos, Tavira. (Ilustração nossa, 2009)



Ilustração 54 – Chaminé com falta de manutenção, Mourão. (Ilustração nossa, 2010)



Ilustração 55 – Manchas e falta de manutenção, Tavira. (Ilustração nossa, 2010)



Ilustração 56 – Destacamento da pintura, Monte, Ilha da Madeira. (Ilustração nossa, 2011)



Ilustração 57 – Destacamento da pintura, Tavira. (Ilustração nossa, 2011)

14.8. CONDICIONANTES DA CAL AÉREA HIDRATADA EM PÓ

A cal aérea hidratada em pó de produção industrial, pode representar duas desvantagens. Uma delas surge durante o processo de fabrico, no qual o material pouco reactivo ou inerte, será susceptível de ser moído em conjunto com o hidróxido de cálcio que representa a cal apagada. A outra situação negativa nesta solução é a carbonatação precoce do hidróxido de cálcio, antes mesmo da sua real aplicação. A cal é conservada consoante o período de armazenamento das embalagens e das condições ambientais. No caso de se verificarem elevadas temperaturas no período de conservação o processo de carbonatação será acelerado. Este geralmente, deve ocorrer lentamente devido à presença do dióxido de carbono existente no ar, facto a que a boa conservação física da embalagem está directamente envolvida.

De modo geral, estes factores nefastos para a boa qualidade final da cal, não se aplicam se se tratar de cal aérea hidratada em pasta. Como os materiais inertes se apresentam em forma de grumos, basta a peneiração para os eliminar da composição (Portugal, 1999, p. 3).

15. BARRAMENTO DE PASTA E CAL

Antigamente apelidados por guarnecimentos, os barramentos de cal foram muito utilizados no acabamento de paramentos tanto no interior, como no exterior, devido à sua grande durabilidade, potencial decorativo e boa capacidade de protecção. Constituíram como grande recurso na Antiguidade Clássica, e continuamente até ao período Barroco, onde foram muito utilizados em grande parte do edificado com expressão arquitectónica e continuamente até ao início da segunda metade do século XX.

Os guarnecimentos desempenham um papel fundamental na própria conservação do revestimento, pois, facilmente se pode constatar em paramentos onde se verifica o destacamento do barramento e conseqüentemente a rápida degradação das várias camadas de reboco subjacentes. Os barramentos de cal são constituídos por massa de pasta de cal com a adição de agregados muito finos²⁹, que seriam aplicados sobre o esboço, previamente humedecido, com duas ou três camadas, em que a espessura ia aumentando progressivamente da camada interior até à exterior (Veiga, 2003, p. 30).



Ilustração 58 – Igreja San Ildefonso, Sevilha. (Ilustração nossa, 2011)

O barramento de cal era aplicado com espessuras de dois a cinco milímetros, o que contrariava a regra da degressividade do teor do ligante, pois as dosagens das

²⁹ Pó de mármore, pó de pedra e areia de estuque, podendo incorporar aditivos de pó de carvão, pigmentos e pó de tijolo.

camadas continham mais cal. Porém, o aumento de flexibilidade era conseguido pela redução da granulometria e da espessura das subcamadas, do interior para o exterior. De modo a obter um acabamento muito liso, impermeável e compacto, eram seleccionados agregados muito finos, resistindo deste modo, a acções de choques e atrito, à absorção higroscópica da humidade relativa do ar e infiltrações da água da chuva (Veiga, 2003, p. 31).

O barramento com pasta de cal, podia ser manipulado cromaticamente com a adição de pigmentos. Este seria previamente preparado e posteriormente adicionados à massa. Podia-se também pintar o paramento, neste caso, dava-se um barramento com acabamento muito liso, podia-se inclusivé recorrer a um polimento e aplicação de ceras (Veiga, 2003, p.31).

16. CONCLUSÃO

A cal foi utilizada desde a antiguidade para a construção de edifícios e estruturas devido à sua polivalência, quer como ligante de argamassas quer como revestimento. Com a evolução na construção foram descobertos novos materiais, os quais nem sempre cumpriram da melhor forma as necessidades. A cal caiu em desuso e foi preterida pelo cimento Portland, embora este não seja compatível com todos os materiais podendo causar danos aos mesmos. No caso da pedra, o cimento reagirá quimicamente com esta degradando a sua integridade, levando-a à destruição e consequentemente ao aparecimento de anomalias estruturais enquanto suporte. Em edifícios antigos é visível o aparecimento prematuro de patologias, pois os poros destas argamassas têm diâmetros reduzidos, entupindo facilmente, ocorrendo deposição de sais solúveis, o que vai bloquear e inevitavelmente destruir o reboco. Em argamassas de cal aérea, os poros são mais abertos havendo maior capacidade de “respiro”, este aspecto é fundamental pois impede a condensação da humidade no interior das casas, evitando desta forma infiltrações por capilaridade, ao contrário do que acontece com argamassas de cimento.

Outro aspecto importante a realçar quando falamos nas propriedades das argamassas de cal, é que devido à sua composição química, a cal absorve CO₂ durante o processo de carbonatação, purificando assim o ar ambiente. É então um produto ecológico, contrariamente ao cimento que na sua produção liberta CO₂ para a atmosfera, para além de necessitar de altas temperaturas para a sua obtenção o que implica a queima de combustíveis fósseis.

Para além da sua enorme resistência e durabilidade, a plasticidade é também um dos atributos da cal, sendo facilmente trabalhável em obra. No entanto, a cal tal como todos materiais tem as suas limitações, tendo sido o facto de necessitar de mais tempo para que possa ganhar presa e endurecer, o motivo pelo qual a cal deixou de ser utilizada tão frequentemente. O tempo médio de secagem entre camadas ronda os quinze dias em argamassas de cal e areia, em comparação, as argamassas de cimento demoram algumas horas. Nos dias de hoje, o factor tempo de execução é o factor primordial para o mercado da construção civil, ignorando a qualidade da construção e sua eficiência. Curiosamente o maior inimigo da cal é a pressa e não o tempo. No entanto, visando atenuar a desvantagem da cal como ligante, opta-se por

executar argamassas bastardas que contam também com uma porção de cimento, funcionando como secante.

No que concerne aos revestimentos, a cal também se mostra como um material que cumpre todos os requisitos de qualidade e eficiência. Uma vez que, neste processo devemos optar por cais de grande qualidade, a sua brancura é inquestionável e não requer cuidados extremos na sua aplicação. O facto da sua cor natural ser branca não significa que estejamos limitados a uma só cor, pois com a adição de pigmentos temos acesso a um leque variado de cores. A conjugação de reboco e revestimento com cal beneficia o paramento e o meio ambiente, pois não existe desperdício, havendo apenas na calcinação do calcário ocorrida nos fornos a libertação de calor para a atmosfera. Este paramento irá assim funcionar convenientemente e de forma bastante durável, dependendo muito da mão-de-obra e da própria qualidade dos agregados, água e cal. No entanto a escolha de tintas correntes apenas se possam tornam mais vantajosas em termos da própria durabilidade, podendo mesmo assim estar a prejudicar o suporte, mas continuam a ostentar cor. O que se pensarmos, na manutenção da caição que deve ser executada sempre que necessário e preferencialmente de ano a ano, em edifícios de vários pisos, ou em paramentos de difícil acesso, pode traduzir-se numa desvantagem.

Quando falamos em termos de recuperação de edifícios antigos é imprescindível que se estabeleçam requisitos de modo a contribuir para a durabilidade do edifício, respeitando sempre a compatibilidade em termos materiais, funcionais e estéticos. As argamassas constituídas por cimento, são incompatíveis com as construções antigas, sendo que a sua durabilidade face às argamassas de cal é inferior.

De referir que o papel realmente importante da cal está reservado ao estado de endurecimento da argamassa, contribuindo para o desempenho preconizado de longo prazo para os revestimentos.

Como futuro Arquitecto, penso ser fundamental ter na minha prática diária, entre outras noções, a essência de que o viver de forma salutar não passa somente pelo bem-estar físico-mental mas também pelas características espaciais, onde passamos a maior parte da nossa vida. A qualidade dos revestimentos influencia notoriamente as condições de habitabilidade dos locais onde vivemos e trabalhamos, sendo por isso fundamental a escolha da solução de parede de uma forma holística. O revestimento do paramento tem como finalidades proteger o edifício da acção das intempéries,

garantindo as funções de impermeabilização, resistência mecânica e assegurar o efeito estético da fachada.

A cal é um produto completo para as argamassas unindo propriedades plastificantes e aglomerantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APPLETON, João (2003) – Reabilitação de edifícios antigos: Patologias e tecnologias de intervenção. Amadora: Ed. Orion.

BRITO, Vânia Patrícia Santos (2009) – Influência dos revestimentos por pintura na secagem do suporte. Dissertação. Lisboa: LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil].

COELHO, Ana Zulmira; TORRAL, F. Pacheco; JALALI, Said (2009) – A cal na construção. Guimarães: Universidade do Minho. Disponível na Biblioteca Municipal do Palácio da Galveias. Lisboa, Portugal.

GONÇALVES, Adelaide (1997) – Capacidade de impermeabilização de recestimentos de paredes com base em ligantes minerais. Dissertação. Acessível na biblioteca do departamento de Arquitectura e Civil do IST [Instituto Superior Técnico]. Lisboa, Portugal.

GUIMARÃES, João Pedro Pinto (2009) – Técnicas tradicionais de construção, anomalias e técnicas de intervenção em fachadas e coberturas de edifícios antigos. Dissertação. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. [Em linha]. [Consult. 12 Setembro]. Disponível em WWW: < URL: http://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/282/1/msc_jppguimaraes.pdf>.

MATEUS, João Mascarenhas (2002) – Técnicas tradicionais de construção de alvenarias : a literatura técnica de 1750 a 1900 e o seu contributo para a conservação de edifícios históricos. Lisboa: Livros Horizonte.

MATEUS, Luís Pedro Simões (2006) – Caracterização de revestimentos usados nem construções de taipa no barlavento algarvio. Dissertação. Acessível na biblioteca do departamento de Arquitectura e Civil do IST [Instituto Superior Técnico]. Lisboa, Portugal.

MIGUEL, Patricia Esteves (2008) – Desenvolvimento de argamssas de reabilitação de edifício em adobe. Universidade de Aveiro. Departamento de engenharia civil. [Em linha]. [Consult. 1 Setembro]. Disponível em WWW: < URL: <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/2352/1/2009000444.pdf> >.

PORTUGAL. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] (1985) – Gesso, cal aérea e hidráulica. Lisboa: LNEC (Documento de apoio, nº 8).

PORTUGAL. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] (1999) – Estudo experimental de caiações para paramentos exteriores de edifícios antigos. Lisboa: LNEC (Relatório, nº 126).

SERRA, Clayton (2011) – O ciclo da cal. [Em linha]. [Consult. 19 Junho 2011]. Disponível em WWW: < URL: <http://clickideia.com.br/site2/blog/34426> >.

SOUSA, Vítor; PEREIRA, Fernando Dias; BRITO, Jorge de (2005) – Rebocos tradicionais : principais causas de degradação. [Consult. 4 Agosto]. Disponível em WWW: < URL:http://www.civil.uminho.pt/cec/revista/Num23/n_23_pag_05-18.pdf >.

VEIGA, Maria do Rosário (2003) – Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos. Lisboa: LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil]. (Métodos e materiais; Tese e programas de investigação).

VITRÚVIO, [Marco Polião] (2009) – Vitrúvio: Tratado de arquitectura. Tradução do latim, introdução de notas por M. Justino Maciel. 3ª ed. Lisboa: IST [Instituto Superior Técnico]. Press.

BIBLIOGRAFIA

AFFONSECA, Sílvia Pimenta d' (2002) – Constituição de antigas argamassas de cal. In PORTUGAL, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação, LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] [ed. lit.] - 2º ENCORE; Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios: Lisboa, LNEC. , 27 de Junho a 1 de Julho de 1994: Comunicações. Vol. I 3ª edição [Reimpressão integral da edição de 1994]. Lisboa: LNEC.

AIRES-BARROS, Luís (2002) – Património cultural construído: algumas notas para o seu estudo e preservação. Pedra & Cal. Lisboa: GECORPA [Grémio das Empresas de Conservação e Restauro do Património Arquitectónico]. 13 (2002).

APPLETON, João (2003) – Reabilitação de edifícios antigos: Patologias e tecnologias de intervenção. Amadora: Ed. Orion.

APPLETON, João; BAIÃO, Manuel (2002) – Inspecção de edifícios para diagnóstico do seu estado patológico. In PORTUGAL, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação, LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] [ed. lit.] - 2º ENCORE; Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios: Lisboa, LNEC. , 27 de Junho a 1 de Julho de 1994: Comunicações. Vol. I 3ª edição [Reimpressão integral da edição de 1994]. Lisboa: LNEC.

ARAÚJO, António de Borja (2003) – Ciclo do calcário e da cal. [Em linha]. [Consult. 8 Abril]. Disponível em WWW: < URL:<http://5cidade.files.wordpress.com/2008/05/ciclo-do-calcario-e-da-cal.pdf> >.

BRITO, Jorge de; FLORES, Inês (2003) – Paredes de alvenaria de pedra natural. Lisboa: IST. Texto de apoio à cadeira de Tecnologia da Construção e Edifícios, do Mestrado de Construção, do Instituto Superior Técnico.

BRITO, Vânia Patrícia Santos (2009) – Influência dos revestimentos por pintura na secagem do suporte. Dissertação. Lisboa: LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil].

CAMPANELLA, Cristian (2003) – Obras de conservação e restauro arquitectónico: condições técnicas especiais. Coord. e adaptação de João Mascarenhas Mateus. Lisboa: C.M.L.

CASAL, Milene (2003) – Consolidação de argamassas de cal aérea com silicatos de etilo e resina acrílica. In PORTUGAL, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação, LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] [ed. lit.] - 3º ENCORE; Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios: Actas. Vol. 1. Lisboa: LNEC.

CASTRO E CRUZETA, Ludgero (2000) – Tratamentos de conservação e restauro. Pedra & Cal. Lisboa: GECORPA [Grémio das Empresas de Conservação e Restauro do Património Arquitectónico]. 7 (2000).

CEZAR, Tody (2000) – Rebocar e refazer juntas: opções para os edifícios em pedra. Pedra & Cal. Lisboa: GECORPA [Grémio das Empresas de Conservação e Restauro do Património Arquitectónico]. 7 (Julho/Agosto/Setembro 2000).

COELHO, Ana Zulmira; TORRAL, F. Pacheco; JALALI, Said (2009) – A cal na construção. Guimarães: Universidade do Minho. Disponível na Biblioteca Municipal do Palácio da Galveias. Lisboa, Portugal.

CÓIAS, Vítor (2007) – Reabilitação estrutural de edifícios antigos. Lisboa: GECORPA [Grémio das Empresas de Conservação e Restauro do Património Arquitectónico].

CÓIAS E SILVA, Vítor (2006) – Inspecções e ensaios na reabilitação de edifícios. Lisboa: IST [Instituto Superior Técnico]. Press.

COLEN, Inês dos Santos Flores Barbosa (2009) – Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas na óptica da manutenção preventiva. Tese. Acessível na biblioteca do departamento de Arquitectura e civil do IST [Instituto Superior Técnico]. Lisboa, Portugal.

DIAS, José Luís Miranda (2002) – Fissuração de parede de alvenaria devida ao movimento dos elementos de suporte. In PORTUGAL, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação, LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] [ed. lit.] - 2º ENCORE; Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios: Lisboa, LNEC., 27 de Junho a 1 de Julho de 1994: Comunicações. 3ª edição [Reimpressão integral da edição de 1994]. Lisboa: LNEC.

FERREIRA, H. N. (1989) – Casos de Obra – ruínas devido às fundações. Lisboa: LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil]. (informação técnica; Geotecnia; ITG 16).

FIGUEIREDO, Carlos (1999) – Alteração, alterabilidade e património cultural construído: o caso da Basílica da Estrela. Tese. Acessível na biblioteca do departamento de Arquitectura e Civil do IST [Instituto Superior Técnico]. Lisboa, Portugal.

FONSECA, Ana Josina (2009) – Avaliação da eficácia de tratamentos convencionais e aplicações alternativas para prevenir a biodeterioração em património cultural. Dissertação. Acessível na biblioteca da faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica, Portugal.

FREITAS, Vasco Peixoto de; SOUSA, Marília (2009) – Reabilitação de edifícios: do diagnóstico à conclusão da obra. In PORTUGAL, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação, LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] [ed. lit.] - 3º ENCORE; Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios: Actas. Vol. 2. Lisboa: LNEC.

FLORES, Inês Santos (2002) – Estratégias de manutenção: elementos da envolvente de edifícios correntes. Dissertação. Acessível na biblioteca do departamento de Arquitectura e Civil do IST [Instituto Superior Técnico]. Lisboa, Portugal.

GONÇALVES, Adelaide (1997) – Capacidade de impermeabilização de recostamentos de paredes com base em ligantes minerais. Dissertação. Acessível na biblioteca do

departamento de Arquitectura e Civil do IST [Instituto Superior Técnico]. Lisboa, Portugal.

GONÇALVES, Adelaide (2007) – Reabilitação de paredes de alvenaria. Dissertação. Acessível na biblioteca do departamento de Arquitectura e Civil do IST [Instituto Superior Técnico]. Lisboa, Portugal.

GONÇALVES, Fernando (2003) – O argumento estético na génese do património arquitectónico e da sua reabilitação. In PORTUGAL, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação, LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] [ed. lit.] - 3º ENCORE; Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios: Actas. Vol. 2. Lisboa: LNEC.

GONÇALVES, Teresa (2002) – Pesquisa de mercado sobre revestimentos para paredes sujeitas à acção de sais solúveis. LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil]. (Caderno de edifícios; CAD 2).

GONÇALVES, Teresa (2003) – Coloração a descoberto de alvenarias antigas originalmente revestidas e sujeitas à acção de sais solúveis: Utilização de hidrófugos de superfície. In PORTUGAL, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação, LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] [ed. lit.] - 3º ENCORE; Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios: Actas. Vol. 1. Lisboa: LNEC.

GONÇALVES, Teresa [et al.] (2006) – Causes of salt decay and repair of plasters and renders of five historic buildings in Portugal. In FORT, Rafael [et al.] [ed. lit.] - Heritage, weathering and conservation: book of abstracts. Madrid: Rafael Fort y outros.

GUERREIRO, Carlos Manuel (2007) – Estudo e caracterização de argamassas de cal aérea, mediante hidráulicas e de ligantes mistos para rebocos de edifícios antigos. Dissertação. Acessível na biblioteca do departamento de Arquitectura e Civil do IST [Instituto Superior Técnico]. Lisboa, Portugal.

GUIMARÃES, João Pedro Pinto (2009) – Técnicas tradicionais de construção, anomalias e técnicas de intervenção em fachadas e coberturas de edifícios antigos. Dissertação. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. [Em linha]. [Consult. 12 Setembro]. Disponível em WWW: < URL: http://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/282/1/msc_jppguimaraes.pdf>.

HENRIQUES, Fernando (1991) – Caracterização de revestimentos para paredes de edifícios antigos: Plano de investigação. Lisboa: LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil]. (Relatório; i&d; edifícios).

HENRIQUES, Fernando (1993) – Quantificação da chuva incidente em paredes. Lisboa: LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil]. (Informação científica de edifícios; INCE 1).

HENRIQUES, Fernando (2002) – Algumas reflexões sobre a conservação do património histórico em Portugal. In PORTUGAL, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação, LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] [ed. lit.] - 2º ENCORE ; Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios : Lisboa, LNEC.

, 27 de Junho a 1 de Julho de 1994 : Comunicações. 3ª edição [Reimpressão integral da edição de 1994]. Lisboa: LNEC.

HENRIQUES, Fernando (2003) – A conservação do património: teoria e prática. In PORTUGAL, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação, LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] [ed. lit.] - 3º ENCORE; Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios: Actas. Vol. 1. Lisboa: LNEC.

HENRIQUES, Fernando (2003) – A conservação do património histórico edificado. Lisboa: LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil]. (Memória; 775).

HENRIQUES, Fernando (2007) – Humidade em paredes. 4ª ed. Lisboa: LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil]. (Caderno de edifícios; C.E.D. 1).

ICOMOS [International Council on Monuments and Sites] - International charter for the conservation and restoration of monuments and sites. Venice: ICOMOS, 1964.

JONES, Paulo – Paredes de alvenaria de pedra. [Em linha]. [Consult. 2 Junho]. Disponível em WWW: < URL:<http://www.paulojones.com/tecnicas/pedra.htm> >.

LOPES, Cláudia Simões (2008) – Anomalias da cor em revestimentos por pintura em paredes exteriores. Dissertação. Acessível na biblioteca do departamento de Arquitectura e Civil do IST [Instituto Superior Técnico]. Lisboa, Portugal.

MARQUES, Marco António; RODRIGUES, José Delgado; MARQUES, Beatriz Lopes (2006) – Degradação e conservação da pedra em estruturas de alvenaria. Terminologia e conceitos petrográficos. Lisboa: LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil]. (Patologia e reabilitação das construções; 1).

MATEUS, João Mascarenhas (2002) – Técnicas tradicionais de construção de alvenarias : a literatura técnica de 1750 a 1900 e o seu contributo para a conservação de edifícios históricos. Lisboa: Livros Horizonte.

MATEUS, Luís Pedro Simões (2006) – Caracterização de revestimentos usados nem construções de taipa no barlavento algarvio. Dissertação. Acessível na biblioteca do departamento de Arquitectura e Civil do IST [Instituto Superior Técnico]. Lisboa, Portugal.

MARGALHA, Maria Goreti; VEIGA, Maria do Rosário; BRITO, Jorge de (2000) – Algumas vantagens do uso da cal em pasta em revestimentos. [Em linha]. [Consult. 2 Junho]. Disponível em WWW: < http://conservarcal.lnec.pt/pdfs/Patorreb-GM_vf.pdf >.

MAURICIO, António (1994) – Descrição, análise e moldagem de alguns factores de alteração e alterabilidade de rochas carbonatadas: o caso do Mosteiro dos Jerónimos. Tese. Acessível na biblioteca central do IST [Instituto Superior Técnico]. Lisboa, Portugal.

MIGUEL, Patricia Esteves (2008) – Desenvolvimento de argamssas de reabilitação de edifício em adobe. Universidade de Aveiro. Departamento de engenharia civil. [Em linha]. [Consult. 1 Setembro]. Disponível em WWW: < URL: <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/2352/1/2009000444.pdf> >.

NERO, J.M.G.; APPLETON, J. A.; GOMES, A. M. (2002) – As argamassas tradicionais no parque edificado de Lisboa: colaboração para o seu conhecimento. In PORTUGAL, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação, LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] [ed. lit.] - 2º ENCORE; Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios: Lisboa, LNEC. , 27 de Junho a 1 de Julho de 1994: Comunicações. 3ª edição [Reimpressão integral da edição de 1994]. Lisboa: LNEC.

NUNES, Paulo Simões (2000) – Construção moderna e a cultura arquitectónica no início do novecentos em Portugal. Dissertação. Acessível na biblioteca da faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.

O'HARE, Graham (2003) – Argamassas e rebocos de cal: as vantagens relativas de se adicionar cimento. [Em linha]. [Consult. 30 Junho]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.buildingconservation.com/> >.

PORTUGAL. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] (1985) – Gesso, cal aérea e hidráulica. Lisboa: LNEC (Documento de apoio, nº 8).

PORTUGAL. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] (1995) – Caracterização de argamassas de reboco para edifícios antigos. Lisboa: LNEC (Relatório, nº 254).

PORTUGAL. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] (1991) – Revestimentos por pintura. Lisboa: LNEC (Relatório, nº 91).

PORTUGAL. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] (1999) – Estudo experimental de caiações para paramentos exteriores de edifícios antigos. Lisboa: LNEC (Relatório, nº 126).

PORTUGAL. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] (2005) – Patologia e reabilitação das construções: Revestimentos por pintura. Lisboa: LNEC (Relatório, nº 404).

PINTO, Alberto Cruz Reaes (2003) – O desenho das envolventes exteriores verticais dos edifícios e a existência de falhas, num processo de degradação. In PORTUGAL, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação, LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] [ed. lit.] - 3º ENCORE; Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios: Actas. Vol. 2. Lisboa: LNEC.

PINHO, Fernando (1994) – Influência das paredes de alvenaria no comportamento de estruturas reticuladas de betão armado sujeitas a acções horizontais. Lisboa: LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil]. (Relatório, 53/94 NPC).

PINHO, Fernando (2000) – Paredes de edifícios antigos em Portugal. Lisboa: LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil]. (Edifícios; Conservação e Reabilitação; 8).

PINHO, Fernando Farinha da Silva (1995) – Sistematização do estudo sobre paredes de edifícios antigos: análise de casos. Dissertação. Acessível na biblioteca do departamento de Arquitectura e Civil do IST [Instituto Superior Técnico]. Lisboa, Portugal.

PINHO, Fernando Farinha da Silva (2007) – Paredes de alvenaria ordinária: estudo experimental com modelos simples e reforçados. Tese. Acessível na biblioteca da faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.

PUIM, Pedro (2010) – Controle e reparação de anomalias devidas à presença de sais solúveis em edifícios antigos. Dissertação. Acessível na biblioteca do departamento de Arquitectura e Civil do IST [Instituto Superior Técnico]. Lisboa, Portugal.

RABAÇA, Rui (2008) – Um contributo para a valorização da textura das superfícies do património construído. Dissertação. Acessível na biblioteca do departamento de Arquitectura e Civil do IST [Instituto Superior Técnico]. Lisboa, Portugal.

SÁ, Abel Soeiro e (2005) – Rebocos em paredes de pedra e cal. Dissertação. Acessível na biblioteca do departamento de Arquitectura e Civil do IST [Instituto Superior Técnico]. Lisboa, Portugal.

SANTOS, Pompeu S.; MUN, Mary (2002) – Avaliação da resistência mecânica das alvenarias em edifícios antigos. In PORTUGAL, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação, LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] [ed. lit.] - 2º ENCORE; Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios : Lisboa, LNEC, 27 de Junho a 1 de Julho de 1994 : Comunicações. 3ª edição [Reimpressão integral da edição de 1994]. Lisboa: LNEC.

SELMO, Sílvia M. de Souza ; HELENE, Paulo R. Do Lago (1991) – Dosagem de argamassas de cimento portland e cal para revestimento externo de fachada dos edifícios. Boletim técnico da escola politécnica da USP, departamento de engenharia de construção civil. São Paulo, Brasil. [Consult. 16 Julho]. Disponível em WWW: < http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF/BTs_Petreche/BT39-%20Selmo.pdf >.

SERRA, Clayton (2011) – O ciclo da cal. [Em linha]. [Consult. 19 Junho 2011]. Disponível em WWW: < URL: <http://clickideia.com.br/site2/blog/34426> >.

SILVA, António Santos (2002) – Caracterização de argamassas antigas: casos paradigmáticos. Lisboa: LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil]. (Caderno de edifícios; CAD 2).

SILVA, J. Mendes da; ABRANTES, Vítor (2007) – Patologia em paredes de alvenaria: causas e soluções. In LOURENÇO, P. B. [et. al.] [ed. lit.] - Seminário sobre paredes de alvenaria. [em linha]. Lisboa: LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil]. [Em linha]. [Consult. 18 Junho]. Disponível em WWW: < URL:http://www.civil.uminho.pt/alvenaria/docs/065_084.pdf >.

SOUSA, Vítor; PEREIRA, Fernando Dias; BRITO, Jorge de (2005) – Rebocos tradicionais: principais causas de degradação. [Em linha]. [Consult. 4 Agosto]. Disponível em WWW: < URL: http://www.civil.uminho.pt/cec/revista/Num23/n_23_pag_05-18.pdf >.

TORGAL, Fernando Pacheco; JALALI, Said (2010) – Considerações sobre os produtos de hidratação em argamassas históricas. Guimarães, Portugal. [Em linha]. [Consult. 18 Junho]. Disponível em WWW: < URL:<http://www.civil.uminho.pt/revista/n36/Pag.17-28.pdf> >.

TORRACA, Giorgio (2009) – Lectures on material sciences for architectural conservation. [Em linha]. Los Angeles: The Getty Conservation Institute. [Em linha]. [Consult. 5 Março 2011]. Disponível em WWW: < URL:http://www.getty.edu/conservation/publications/pdf_publications/torraca.pdf >.

TABORDA, Rui Pessanha; SOEIRO, Alfredo (2002) – Análise de patologias: Metodologias de quantificação “causa efeito”. . In PORTUGAL, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação, LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil] [ed. lit.] - 2º ENCORE; Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios: Lisboa, LNEC. , 27 de Junho a 1 de Julho de 1994: Comunicações. 3ª edição [Reimpressão integral da edição de 1994]. Lisboa: LNEC.

UEMOTO, Kai Loh; AGOPYAN, Vahan (1992) – Pintura à base de cal. Boletim técnico da escola politécnica da USP, departamento de engenharia de construção civil. São Paulo, Brasil. Disponível na biblioteca do LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil]. Lisboa, Portugal.

VADSTRUP, Soren – Reparações em alvenaria e rebocos. [Consult. 17 Junho]. Disponível em WWW: < URL <http://5cidade.files.wordpress.com/2008/05/reparacoes-em-alvenaria-e-rebocos.pdf> >.

VEIGA, Maria do Rosário (1998) – Comportamento de argamassas de revestimento de paredes: contribuição para o estudo da sua resistência e fendilhação. Lisboa: LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil]. (Caderno de edifícios; Tese e programas de investigação; T.P.I. 12).

VEIGA, Maria do Rosário (2003) – Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos. Lisboa: LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil]. (Métodos e materiais; Tese e programas de investigação).

VEIGA, Maria do Rosário; CARVALHO, Fernanda (2002) – Argamassas de reboco para paredes de edifícios antigos : requisitos e características a respeitar. Lisboa: LNEC [Laboratório Nacional de Engenharia Civil]. (Caderno de edifícios; CAD 2).

VEIGA, Maria do Rosário; TAVARES, Martha (2002) – Características das paredes antigas. Requisitos dos revestimentos por pintura. Actas do encontro: A indústria das tintas no início do século XXI. Lisboa, APTETI. [Em linha]. [Consult. 8 Setembro]. Disponível em WWW: < URL:http://conservarcal.lnec.pt/pdfs/RVMT_APTETI.pdf >.

VIEIRA, Adriana de Andrade (2005) – Influência dos detalhes arquitectónicos no estado de conservação das fachadas de edificações do património arquitectónico cultural do centro histórico de Porto Alegre: estudo de caso. [Em linha]. [Consult. 2 Março 2011]. Dissertação realizada em Porto Alegre: U. Federal de Rio Grande do Sul. Disponível em WWW: < URL:<http://lume.ufrgs.br/handle10183/10150> >.

VITRÚVIO, [Marco Polião] (2009) – Vitrúvio: Tratado de arquitectura. Tradução do latim, introdução de notas por M. Justino Maciel. 3ª ed. Lisboa: IST [Instituto Superior Técnico]. Press.

WALTER, Ana; LOPES, Jorge Grandão; BRITO, Jorge de (2003) – Impermeabilizações de coberturas em terraço: Anomalias em superfícies corrente. In PORTUGAL, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação, LNEC

[Laboratório Nacional de Engenharia Civil] [ed. lit.] - 3º ENCORE; Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios: Actas. Vol. 2. Lisboa: LNEC.