

# A Cal na Construção



**Ana Zulmira Coelho**  
**F. Pacheco Torgal**  
**Said Jalali**



Universidade do Minho

Guimarães 2009

:

### Patrocínio Institucional:



### Outros Patrocínios:



# A Cal na Construção

Ana Zulmira Gomes Coelho

F. Pacheco Torgal

Said Jalali

**Edição**  
TecMinho

**Arranjo Gráfico**  
Andrea Mota

**ISBN**  
978-972-99179-8-1

**Impressão**  
*Publidisa*

DELEGACIÓN PORTUGAL

Av. 5 de Outubro 10

Tel.: (+351) 21 350 70 00

Fax.: (+351) 21 353 41 94



Universidade do Minho

# Prefácio

O bom conhecimento dos materiais de construção é um requisito fundamental para promover quer a qualidade quer mesmo a sustentabilidade da indústria da construção. Contudo a formação académica ao nível dos cursos de engenharia civil tem dado muito mais relevo a outras questões como o cálculo estrutural e outro, relegando para um plano secundário a abordagem do conhecimento dos materiais de construção.

De acordo com as últimas estatísticas o nosso país possui aproximadamente 5,5 milhões de edifícios, sendo que destes 500.000 se encontram desocupados, a problemática da reabilitação assume neste contexto uma importância crucial. No caso dos materiais de construção um tal cenário vem reposicionar o seu papel, porquanto implica um conhecimento mais profundo das suas propriedades, do seu comportamento ao longo do tempo e da compatibilidade entre diferentes materiais. De facto a utilização do cimento em obras de reabilitação de forma indiscriminada e pouco criteriosa tem sido responsável por inúmeros insucessos. Relegada para um papel secundário, desde o aparecimento do cimento há quase um século, a cal retoma assim actualmente uma importância que conheceu desde os primórdios da civilização humana.

Nesse sentido o presente trabalho pretende contribuir ainda que de forma modesta para sintetizar um conjunto de informações técnicas e científicas sobre a cal de construção, as quais se pensa poderem ser úteis quer aos estudantes quer aos técnicos que diariamente lidam com este material. O trabalho encontra-se estruturado em vários capítulos, nos quais se destacam os dois últimos, versando respectivamente sobre as propriedades e a durabilidade das argamassas de cal, como também sobre a importância da cal na reabilitação de edifícios. Faço por isso votos para que o presente trabalho, possa ser útil aos seus leitores e contribuir para uma construção com mais qualidade.

Said Jalali  
Universidade do Minho

# ÍNDICE

<i>Prefácio</i>	5
<b>1 A Cal</b>	10
Enquadramento Histórico	11
Tipos de Cal de Construção	17
<b>2 Produção da Cal</b>	22
Processo de fabrico	23
Cal Aérea	30
Cal Hidráulica	33
Normalização	35
Fornecimento, Recepção e Armazenamento	37
<b>3 Requisitos da Cal</b>	39
Requisitos Físicos e Mecânicos	40
Requisitos Químicos	45
<b>4 Aplicações da Cal</b>	47
Argamassas e Betões	48
Pinturas	51
Estabilização de Solos	53
Blocos de Terra Comprimidos (BTC)	59
Revestimentos Betuminosos	66
<b>5 Argamassas com Cal: Propriedades e Durabilidade</b>	68
Endurecimento	69
Trabalhabilidade	72
Retenção de Água	75
Retracção	76
Resistência à compressão	79
Ductilidade	81

Módulo de Elasticidade	82
Porosidade, Capilaridade e Permeabilidade ao Vapor de água	84
Resistência à Acção de Sais Solúveis	88
<b>6 A Cal na Reabilitação de Edifícios</b>	90
Considerações Gerais	91
Caracterização das Argamassas Antigas	94
Argamassas de Restauro à base de Cal	106
<b>6 Referências</b>	117
<b>7 Índice de Figuras</b>	126
<b>8 Índice de Tabelas</b>	130

**7**

**Referências**

- ALMEIDA, N.G.; RODRIGUES, P.F; PINTO, A.P. (2007) *Argamassas em Base em Cal Aérea e Cinzas de Casca de Arroz para Conservação do Património Construído*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa.
- AIREY, G.D.; COLLOP, A.C.; ZOOROB, S.E.; ELLIOT, R.C. (2008) *The Influence of Aggregate, Filler and Bitumen on Asphalt Mixture Moisture Damage*. *Construction and Building Materials*, Vol 22, pp. 2015-2024.
- ADRIANO, P.; SILVA, A.S.; VEIGA, R.; CANDEIAS, A.; MIRÃO, J. (2007) *Determinação da Composição de Argamassas Antigas*. 2º Congresso Nacional de Argamassas, Lisboa.
- AL-RAWAS, A. A.; HAGO, A. W.; CORCORAN; T.C. (1998) *Properties of Omani artificial pozzolana*. *Applied Clay Science* Vol.13, pp.275-292.
- ALEXANDRA, S. S. S. (2006) *Arquitetura e Construção em Terra no Piauí: Investigação, Caracterização e Análise*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Piauí.
- ALVAREZ, J.; SEQUEIRA, C.; COSTA, M. (2005) *Ensinamentos a retirar do passado histórico das argamassas*. 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa
- ALVAREZ, J.A.S. (2007) *Alvenarias e argamassas anteriores ao Império Romano*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa
- AGOSTINHO, C.S.A. (2008) *Estudo da Evolução do Desempenho no Tempo de Argamassas de Cal Aérea*. Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, IST.
- AGUIAR, B. (2007). *Materiais de construção I*, Apontamentos, Universidade do Minho
- ARIOGLU, N.; ACUN, S. (2006) *A research about a method for restoration of traditional lime mortars and plasters: A staging system approach*. *Building and Environment* Vol. 41, pp.1223-1230.
- BAUER, L. A. F.(1987) *Materiais de Construção 1*. Livros Técnicos e Científicos Editora, 3ª Edição, Rio de Janeiro - Brasil.
- BOYNTON, R. (1980) *Chemistry and technology of lime and limestone*. John Wiley and Sons.

CARBO, M.; REIG, F.; ADELANTADO, J.; MARTINEZ, V. (1996) *Fourier transformed infrared spectroscopy and the analytical study of works of art for purposes of diagnosis and conservation*. Analytica Chimica Acta Vol. 330, pp.207-215.

CARTMELL, H.S.; BERG, A.O. (1958) *Lime Stabilization of Soils for Use as Road Construction of Low-Cost Roads in N. Rhodesia*. N. Rhodesia, Road Research Overseas Bull, N.º 9.

CASTRO, E.; SERAFIM, L.A. (1974) *O Solo-Cal na pavimentação de estradas e aérodromos*; Memória N.º 450. Ministério do Equipamento Social e do Ambiente, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

CAVACO, L.S.R. (2005) *Técnicas de Aplicação de Argamassas de Revestimento em Edifícios Antigos*. Influência do Desempenho. Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico.

COWAN, H. (1977) *The Master Builders: a history of structural and environmental design from ancient Egypt to the Ninetennth Century*. John Wiley and Sons, New York

CORRÊA, A.A.R; TEIXEIRA, V.H; LOPES, S.P. (2005) *Avaliação das Propriedades Físicas e Mecânicas do Adobe*. Lavras, Vol. 30, pp. 503 – 515.

COUTINHO, J.S (2006) *Materiais de Construção 2. Ligantes e caldas*. Departamento de engenharia civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

CRISTELO, N.M.C. (2001) *Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil – Estruturas, Geotecnia e Fundações. Universidade do Minho.

CRISTELO, N.M.C.; JALALI, S. (2008) *Estabilização de solos com cal*. Edição TecMinho. ISBN: 978-989-95961-1-5, Guimarães.

CROSS, S. (1999) *Experimental Cold in-place Recycling with Hydrated Lime*. In 78<sup>th</sup> Annual Meetinh of TRB

ELSEN, J. (2006) *Microscopy of historic mortars – A review*. Cement and Concrete Research, Vol. 36, pp. 1416-1424

EN 1015-3: (1999) *Methods of test for mortar masonry. Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*.

GENESTAR, C.; PONS, C. (2003) *Ancient plaster mortars from several convents and Islamic and Gothic places in Palma de Mallorca (Spain). Analytical characterization*. Journal of Cultural Heritage Vol. 4, pp. 291-298

GONÇALVES, T.; VEIGA, M.R. (1994) *Aplicação de um Aparelho Detector de Humidade ao estudo da Capacidade de Impermeabilização de Argamassas de Reboco*. Relatório 98/94-NCCT, LNEC.

GREEN, K.M.; CARTER, M.; HOFF, W.; WILSON, M. (1999) *The effects of lime and admixtures on the water-retaining properties of cement mortars*. Cement and Concrete Research Vol. 29, pp. 1743-1747.

GUERREIRO, V.M. (2002) *Paredes de Alvenaria em Betão Celular Auto-Clavado*. Monografia Nº 8, Construlink.

GUERREIRO, C.; HENRIQUES, F.M.A.; Pinto, A.P. (2007) *Análise Comparativa de Argamassas de Cal Aérea, Medianamente Hidráulicas e de Ligantes Mistos para Rebocos de Edifícios Antigos*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa

GUIMARÃES, J. E. P. (2002) *A cal – fundamentos e aplicações na engenharia civil*. 2ª Edição, São Paulo, Pini.

HANLEY, R.; PAVIA, S.(2008) *A study of the workability of natural hydraulic lime mortars and its influence on strength*. Materials and Structures Vol. 41, pp. 373-381.

HENRIQUES, F. (2003) *A conservação do património: Teoria e prática*. 3º Encore, LNEC.

HENRIQUES, F. (2003a) *The concept of acceptable technology in architectural conservation*. ITAM-ARCCHIP-ARIADNE Workshop 12, República Checa.

HENRIQUES, F.; RODRIGUES, P. (2008) *O papel da investigação das argamassas de substituição na conservação do património*. Universidade do Minho, Revista Engenharia Civil, N° 31, pp.29-37.

JALALI, SAÍD. (1991) *A Study of factors affecting the mechanical behaviour of lime-fly ash mixtures*. A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements of the council for national academic awards for the degree of Ph. D., Coventry Polytechnic.

JALALI, S. (2007) *Blocos de Terra Comprimidos de Elevado Desempenho Utilizando Misturas Metacaulino-Cal*. V Seminário de Arquitectura de Terra em Portugal, pp.89-90.

JALILI, M.; NIAZI, Y. (2008) *Effect of portland Cement and Lime Additives on Properties of Cold in-Place Recycled Mixtures with Asphalt Emulsion*. Construction and Building Materials, Vol., pp.

JOHANNESON, B.; UTGENANNT, P. (2001) *Microstructural Changes caused by Carbonation of Cement Mortar*. Cement and Concrete Research Vol. 31, pp. 925-931.

KOK, B.V.; YILMAZ, M. (2008) *The effects of Using Lime and Styrene-butadiene-styrene on moisture sensivity Resistance of Hot Mix Asphalt*. Construction and Building Materials, Vol., pp.

LAWRENCE, R.; MAYS, T.; RIGBY, S.; WALKER, P.; D'AYALA, D. (2007) *Effects of carbonation on the pore structure of non-hydraulic lime mortars*. Cement and Concrete Research Vol. 37, pp. 1059-1069.

LUÍS, A. S. (1972) *Estabilização com Cal – Breve referência ao seu emprego em Moçambique*. Colóquio realizado no LNEC.

LOPES, M. L. (2001) *A caiação Tradicional no Distrito de Santarém*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Évora.

MAGALHÃES, A.C.; VEIGA, M.R.; VELOSA, A.L. (2007) *Caracterização e Avaliação do Desempenho de Possíveis Soluções de Argamassas para Revestimentos de Paredes de Edifícios Antigos*. 2º Congresso Nacional de Argamassas, Lisboa.

MARGALHA, M.G; VEIGA, M.R.; BRITO, J. (2006) *The Maturation Time Factor on the Lime Putty Quality*. 7<sup>th</sup> International Brick Masonry Conference.

MARGALHA, M.G. (2008) *Conservação e recuperação de construções em taipa. Acção de formação*. Taliscas, Odemira.

MARQUES, S. (2005) *Estudo de argamassas de reabilitação de edifícios antigos*. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro.

MARQUES, S.; RIBEIRO, R.; SILVA, L.; FERREIRA, V.; LABRINCHA, J. (2006) *Study of Rehabilitation Mortars: Construction of a Knowledge Correlation Matrix*. Cement and Concrete Research Vol. 36, pp.1894-1902.

MATEUS, R.F.M. (2004) *Novas Tecnologias Construtivas com Vista à Sustentabilidade Construção*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho.

MILLER, M. (1999) *Lime*. U.S Geological Survey Minerals Yearbook.

MILLOGO, Y.; HAJAJI, M.; OUEDRAGO, R. (2008) *Microstructure and physical properties of lime-clayey adobe bricks*. Construction and Building Materials Vol. 22, pp. 2386 – 2392.

MIRA, P.; PAPADAKIS, V.G.; TSIMAS, S. (2002) *Effect of lime putty addition on structural and durability properties of concrete*. Cement and Concrete Research Vol.32, pp. 683 – 689.

NP EN 459-1: (2002) *Cal para construção – Parte 1: Definições, especificações e critério de conformidade*.

NP EN 459-1: (2002) *Cal para construção – Parte 2: Métodos de ensaio*.

ORÚS, F.(1977) *Materiales de Construcción*. Editorial Dossat, S.A., Madrid, 7<sup>a</sup> Edição, Reimpresión.

PAVIA, S.; TREACY, E. (2006) *A comparative study of the durability and behaviour of fat lime and feebly-hydraulic lime mortars*. Materials and Structures Vol. 39, pp. 391-398.

PAIVA, S.C.; GOMES, E.A.; OLIVEIRA, R.A. (2007) *Controle de Qualidade da Cal para Argamassas – Metodologias Alternativas*. Revista Ciência & Tecnologia. Ano 1, nº 1, pp.1-11.

PAULO, R. S. (2006) *Caracterização de Argamassas Industriais*. Tese de Mestrado Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro da Universidade de Aveiro.

PINHO, F.F.S. (2001) *Paredes de Edifícios Antigos em Portugal*. Edição LNEC, Conservação e Reabilitação.

RAGO, F.; CINCOTTO, M.A. (1999) *Influência do tipo de cal hidratada na reologia das pastas*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de S. Paulo, ISSN 0103 – 9830.

RATO, V.N.P.M. (2006) *Influência da Microestrutura Morfológica no Comportamento de Argamassas*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, FCT/UNL.

RIBEIRO, L.C.; LOPES, R.P.N. (2007) *As argamassas na antiguidade Greco-Romana: usos, definições e traduções*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa

RODRIGUES, P.F.; HENRIQUES, F.M.A. (2002) *The Effects of Hydraulic Components on Lime Mortars*. XXX IAHS World Congress on Housing, Coimbra, Portugal

RODRIGUES, M.P. (2004) *Argamassas de Revestimentos para Alvenarias Antigas. Contribuição para o Estudo da Influência dos Ligantes*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, FCT/UNL.

RODRIGUES, P.F.; HENRIQUES, F.M.A. (2004) *Current Mortars in Conservation: An Overview*. International Journal for Restoration, Vol.10, pp.692-622.

RODRIGUES, P.F. & HENRIQUES, F.M.A. (2003) *Avaliação comparativa de Cais Aéreas Correntes*. 3º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios: Materiais e Técnicas de Conservação e Reabilitação, LNEC, pp. 503-510.

RODRIGUES, P.F.; HENRIQUES, F.M.A.; RATO, V.M. (2007) *Argamassas Correntes: Influência do Tipo de Ligante e do Agregado*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa.

SANTIAGO, C.C. (2000) *Estudo dos Materiais de Construção de Vitruvius até ao Séc.XVIII, uma Visão Crítico Interpretativa à Luz da Ciência Contemporânea*. Tese de Doutoramento em Conservação do Património Arquitectónico, Universidade de Évora.

SANTOS, J.C.P. (1985) *Viabilidade técnica da produção de blocos silico-calcários*. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SÁ, A.F.G. (2002) *Argamassa de cal aérea hidratada com incorporação de gordura e sua utilização em rebocos*. Monografia N° 7, Construlink.

SÁ, A.F.G. (2005) *Rebocos em Paredes de Pedra e Cal*. Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, IST.

SEABRA, M.; LABRINCHA, J.; FERREIRA, V. (2007) *Rheological Behaviour of Hydraulic Lime-Based Mortars*. Journal of the European Ceramic Society Vol. 27, pp. 1735 – 1741.

SEABRA, M.P.; PAIVA, H.; LABRINCHA, J.A.; FERREIRA, V.M. (2009) *Admixtures effect on fresh state properties of aerial lime based mortars*. Construction and Building Materials Vol. 23, pp. 1147 – 1153.

SEQUEIRA, A.C.; FRADE, D.; GONÇALVES, P. (2007) *Cal Hidráulica – Um ligante para a reabilitação*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa.

SILVA, S. (2003) *New approach in old mortars characterization*. Proceedings 3<sup>rd</sup> Encore LNEC, pp. 917-926.

SILVA, N. G.(2006) *Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária*. Tese de Mestrado, UFPR. Sector de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SHUI, C.; GONG, L.; WANG, H. (1986) *Concrete Made with Calcium Enriched Fly Ash*. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete, ACI SP-91, pp. 387-411

SHUKLA, A.; TIWARI, G.N.; SODHA, M.S. (2008) *Embodied energy analysis of adobe house*. Renewable Energy Vol., pp. 1-7.

TEUTONICO, J.M.; NACCAIG, I.; BURNS, C.; ASHURST, J. (1994) *The Smeaton Project: Factors Affecting the Properties of Lime-Based Mortars*. Bulletin of the Association for Preservation Technology, Vol.25, pp.32-49.

UGURLU, E.; BOKE, H. (2008) *The use of Brick-Lime Plasters and Their Relevance to Climatic Conditions of Historic Bath Buildings*. Construction and Building Materials, Vol. , pp. .

VEIGA, R. (1998) *Comportamento de Argamassas de Revestimento de Paredes-Contribuição do Estudo para a sua Resistência à Fendilhação*. Tese de Doutoramento, LNEC.

VEIGA, M.R; TAVARES, M. (2002) *Características das Paredes Antigas. Requisitos dos Revestimentos por Pintura*. Actas do Encontro A Indústria das Tintas no início do Século XXI. Lisboa, APTETI.

VEIGA, R. (2003) *As Argamassas na Conservação*. In Actas das 1ª as Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Avaliação e Reabilitação das Construções Existentes. Coleção Comunicações, COM 103, LNEC.

VEIGA, M.; AGUIAR, J.; SILVA, A.; CARVALHO, F.(2004) *Conservação e renovação de revestimentos de edificios antigos*. LNEC.

VEIGA, M.R.; SOUZA, R.H. (2004) *Metodologia de Avaliação da Retracção Livre das Argamassas desde a sua Moldagem*. Revista Engenharia Civil.UM, nº 20, pp.45-56.

VEIGA, R. (2006) *Arquitectura Ibérica. Os Revestimentos Antigos e a Identidade dos Edifícios*. Arquitectura Ibérica, Reabilitação nº 12, pp.16

VEIGA, M.; VELOSA, A.; TAVARES, M. (2008) *A Cor das Argamassas*. Revista Construção Magazine, nº25.

VELOSA, A.L.PL. (2006) *Argamassas de Cal com Pozolanas para Revestimento de Paredes Antigas*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro.

WESTERHOLM, M.; LAGERBLAD, B.; SILWEBRAND, J.; FORSSBERG, E. (2008) *Influence of Fine Aggregate Characteristics on the Rheological Properties of Mortars*. *Cement and Concrete Composites* Vol. 30, pp. 274-282.

ZACHAROPOULOU, G. (1998) *The renaissance of lime based mortar technology. An appraisal of a bibliographical study*. *Materials for protection of European Cultural Heritage*, Athens.