

V Jornadas FICAL Fórum Ibérico da Cal

Portugal | Lisboa | LNEC | 23 -25 | maio | 2016



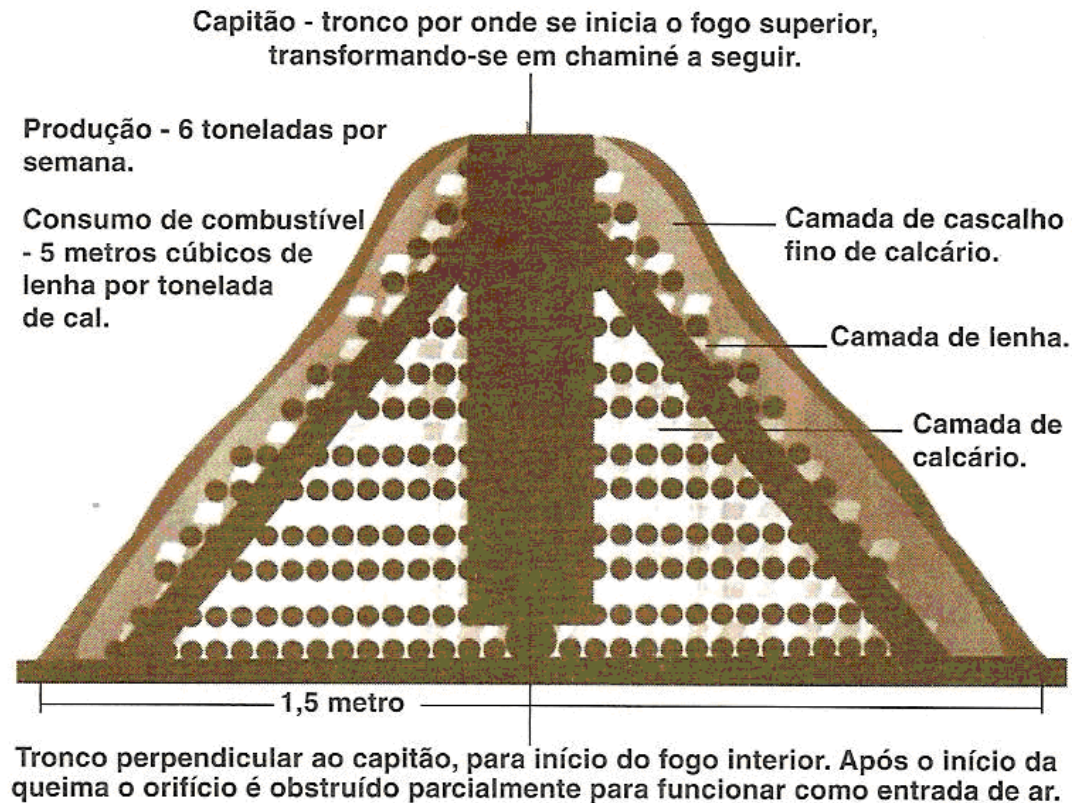
LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



FICAL
Forum Ibérico da Cal

Fornos tradicionais do Alentejo: processo de fabrico da cal

Maria Goreti Margalha
goreti.margalha@cm-beja.pt



O processo de fabrico da cal poderá ter sido descoberto de forma ocasional quando, junto ao fogo, foram colocadas pedras calcárias e se observou a sua transformação num material que se tornava plástico com a água após o processo de cozedura.

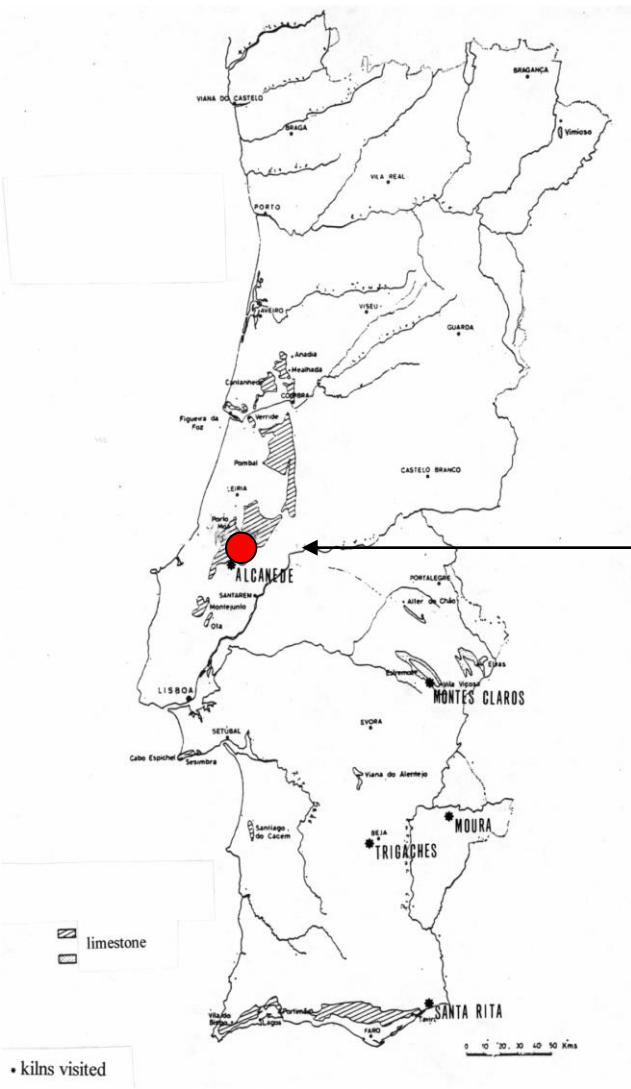
Meda para o fabrico de cal (Guimarães, 2002)

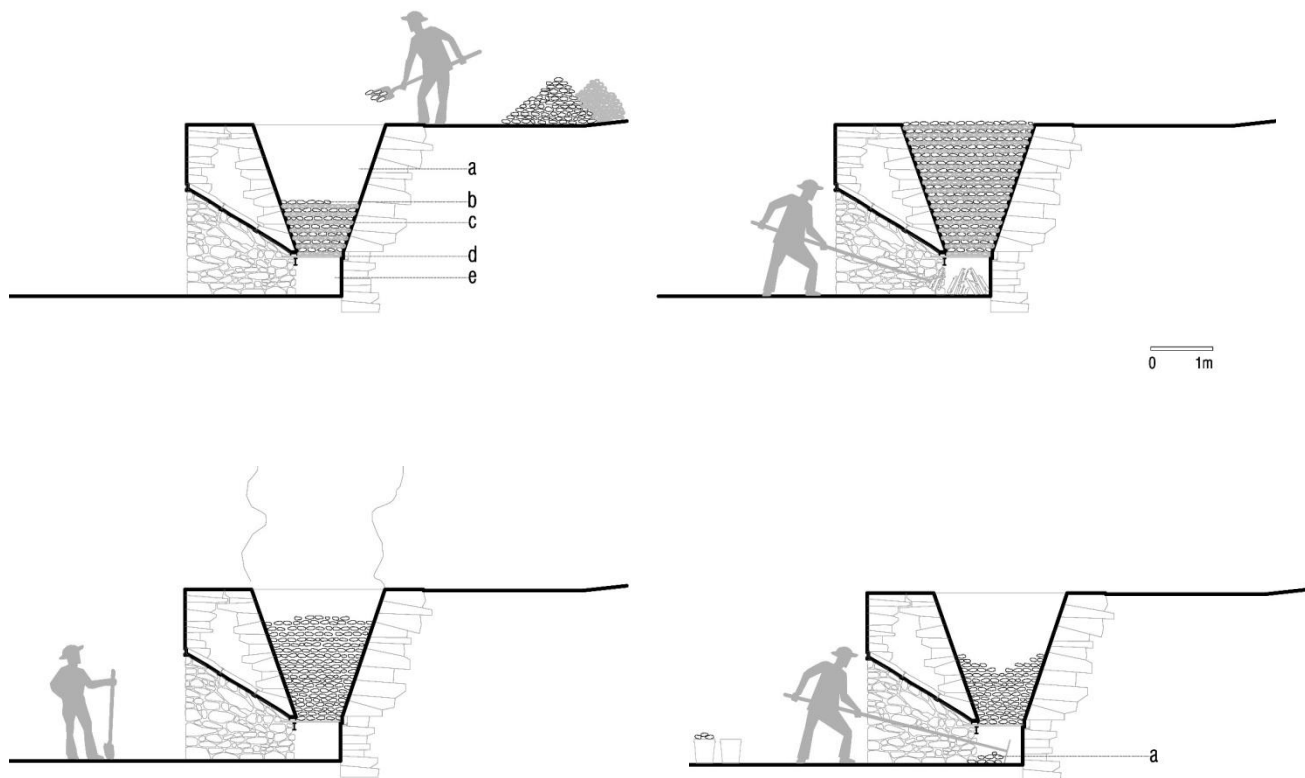


Forno do tipo contínuo em Dine,
Montesinho (fotografia cedida pelo arquitecto José
Aguiar)



Documentação do forno do tipo contínuo em Dine, Montesinho



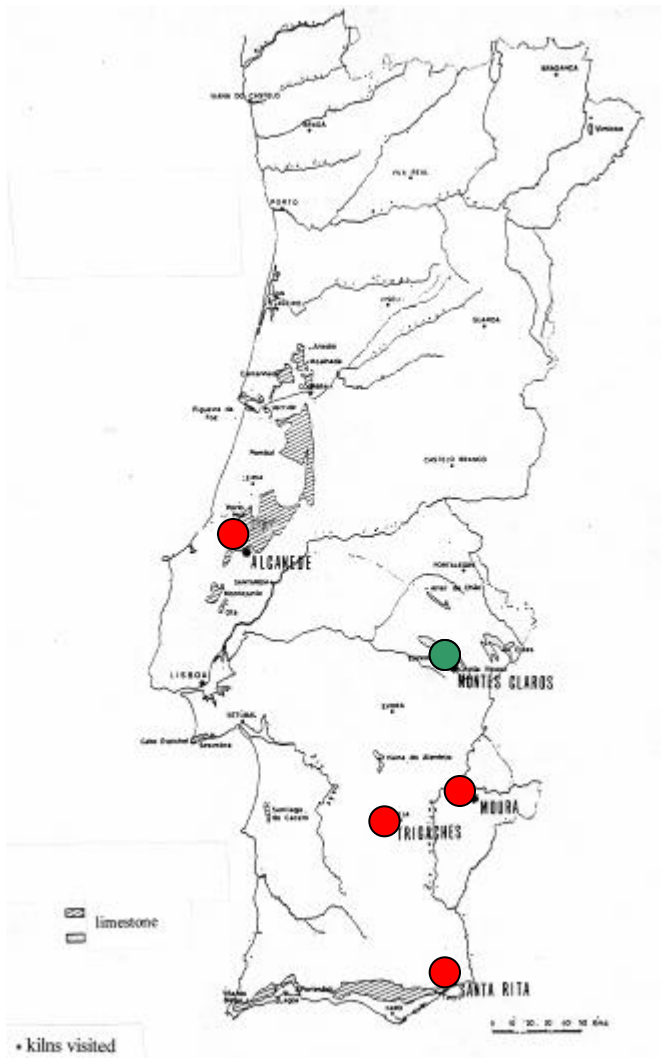


Pomarão

Retirado da dissertação de mestrado de Paulo Custódio «Os fornos de cal do baixo Guadiana, contributo para um estudo arquitetónico», U.E., 2016

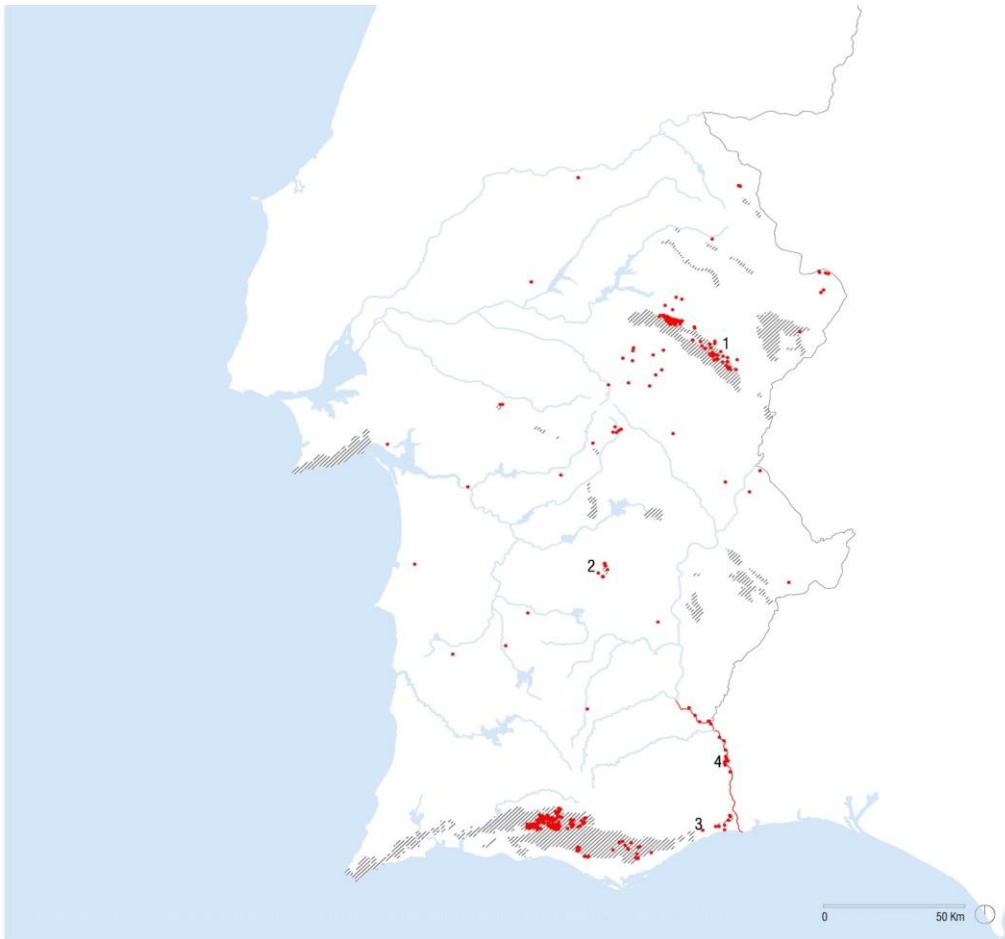
Scottish Lime Centre





Em 1997, foram referenciados 5 locais onde se mantinham em funcionamento os fornos tradicionais de cal do tipo descontínuo.

Em 2008, apenas um dos lugares, em Montes- Claros, continuava a ter 2 destes fornos tem funcionamento.



rochas carbonatadas e fornos de cal no sul
de Portugal, adaptado de Estereofotogrametrias aéreas, 1976

**Retirado da dissertação de mestrado de Paulo Custódio «Os fornos de cal do baixo Guadiana,
contributo para um estudo arquitetónico», U.E., 2016**

Forno do tipo descontínuo

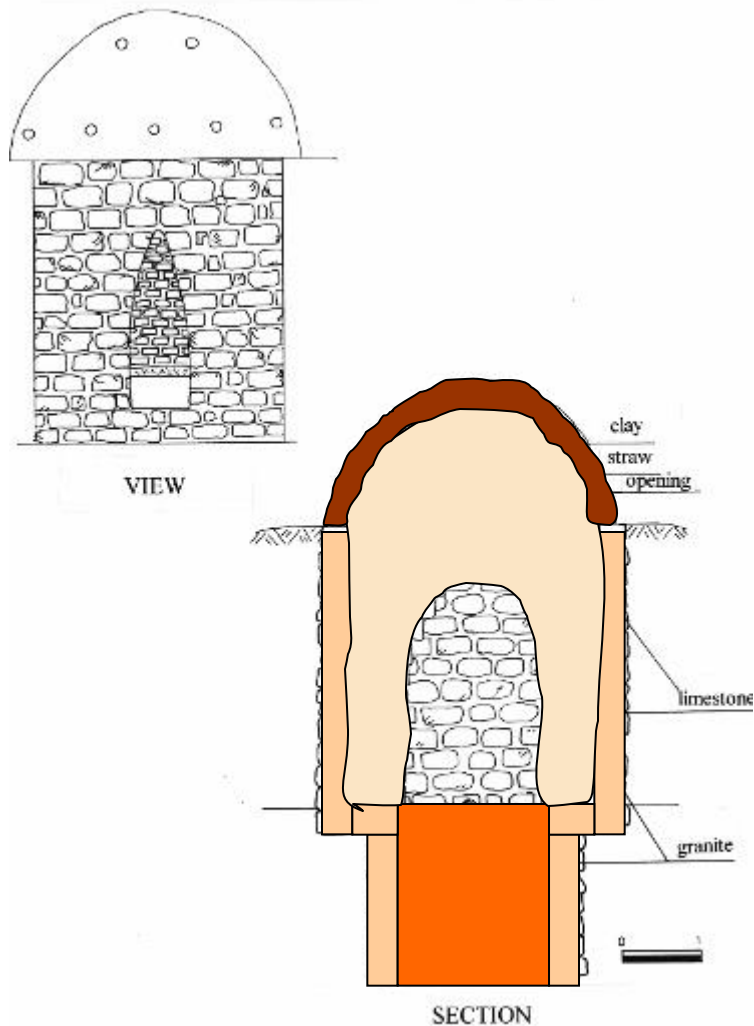
A estrutura circular do forno é em granito.

O combustível utilizado são madeira e pequenos arbustos de preferências verdes.

O forno tem uma saliência onde apoia o calcário ou mármore.

A forma como é colocado o mármore ou calcário é fundamental para uma cozedura uniforme.

A abóbada de pedra é coberta por palha e argila para manter a temperatura, ficando pequenas aberturas por onde é expelido o dióxido de carbono proveniente da combustão.





Os fornos tradicionais descontínuos têm um processo arcaico de cozedura, semelhante aos processos descritos no período romano.



O calcário dolomítico que produz a cal preta é colocado junto às paredes do forno porque precisa de menos calor para a transformação química em óxido de cálcio.



- Carbonato de cálcio CaCO_3 $\rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
- Dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ $\rightarrow \text{CaO} + \text{MgO} + 2\text{CO}_2$



O tempo que demora a transformação da pedra em cal viva depende das dimensões do forno, do tipo de rocha utilizada, do tipo de combustível e quantidade e das condições atmosféricas.



Formação natural de um tipo de solo utilizado na construção

PASSEIOS NA NATUREZA

atividades ao ar livre



ROTA DO MARMORE

visita aos fornos de cal



O tempo que demora o processo de transformação do calcário em calido de calido depende das dimensões do forno, do tipo de pedra utilizada, da qualidade do combustível e das condições ambientais. Nos fornos de Trigachos esta tarefa demorava cerca de 4 dias e envolvia três homens a trabalhar por turno. Hoje a dia, para que a temperatura se mantenha, quando a transformação começa de noite calcaria se está a preparar, é visível um fumo negro, devido ao carbono, a qual pela abertura da alameda constituída com barro. A produção deste processo é impulsionada pelo calor do fogo interno libertado que se traduz nos espelhos de grande beleza que todos os dias se transformam no calcário de calido no estado de calido. Nesta altura, não é adicionado mais lenha e aquece-se o acreframento da cal viva que depois de moçada recubra com material de construção.



Produção de calido de calido em um forno tradicional



Forno tradicional para produção de calido, construído em pedra e barro, com lenha como combustível



MUNICÍPIO DE BEJA

www.cm-beja.pt
facebook.com/comunicacao1007021



www.cm-beja.pt
facebook.com/comunicacao1007021

CAMINHOS DA CAL

PERCURSOS PEDESTRES DE BEJA TRIGACHES



Cal de Morón

Declarada pela Unesco em 2011 Património Cultural Imaterial da Humanidade



Morón de la Frontera, Andaluzia (Espanha)

Aposta na cal ao nível da reintrodução da prática ancestral e valorização patrimonial, incluindo a exploração da vertente formativa e de animação turística

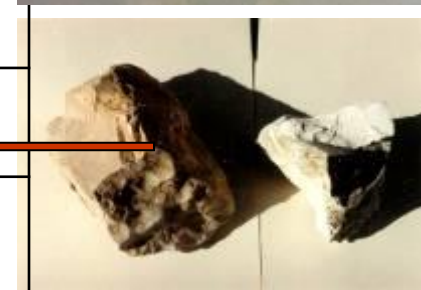
Composição mineralógica das cais pretas (% em massa dos minerais)

Localização (cor)	Tipo de forno	CaCO ₃	CaMg(CO ₃) ₂	Outros
Montes Claros (castanho)	tradicional	vestígios	94.6	5
S.^{ta} Rita (cinzento com laivos pretos)	tradicional	vestígios	95.8	4



Composição mineralógica das cais brancas (% em massa dos minerais)

Localização (cor)	Tipo de forno	CaCO ₃	CaMg(CO ₃) ₂	Outro
Alcanede (branco)	industrial	99.5	---	0.5
Montes Claros (azul)	tradicional	99	vestígios	1
Montes Claros (branco)	tradicional	91.5	---	8.5
S. ^{ta} Rita (castanho)	tradicional	90	9	1
S. ^{ta} Rita (castanho claro)	tradicional	96	---	4
S. ^{ta} Rita (cinzento com laivos rosa)	tradicional	6	92	2



Composição química da cal de Montes Claros (% em massa)

	Perda ao rubro	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃
Branca	27.9	71.4	-	0.3	0.1	0.05	0.2
Castanha	25.9	45.9	25.5	1.2	0.01	1.6	0.01



Forno tradicional localizado na povoação de Toano, Itália (fotografia cedida pela arquitecta Ewa Malinowski)



Forno tradicional existente na Eslovénia (fotografia cedida pela engenheira Rosário Veiga)



Forno vertical industrial em Itália

(fotografia cedida pela arquitecta Ewa
Malinowski)



Forno vertical industrial de Alcanede

- **Combustível**
- **Temperatura**
- **Tempo de cozedura**
- **Natureza da rocha**
- **Quantidades presentes de sílica, alumina e ferro**



- **Massa volúmica**
- **Porosidade total**
- **Superfície específica**
- **Dimensão dos cristais**

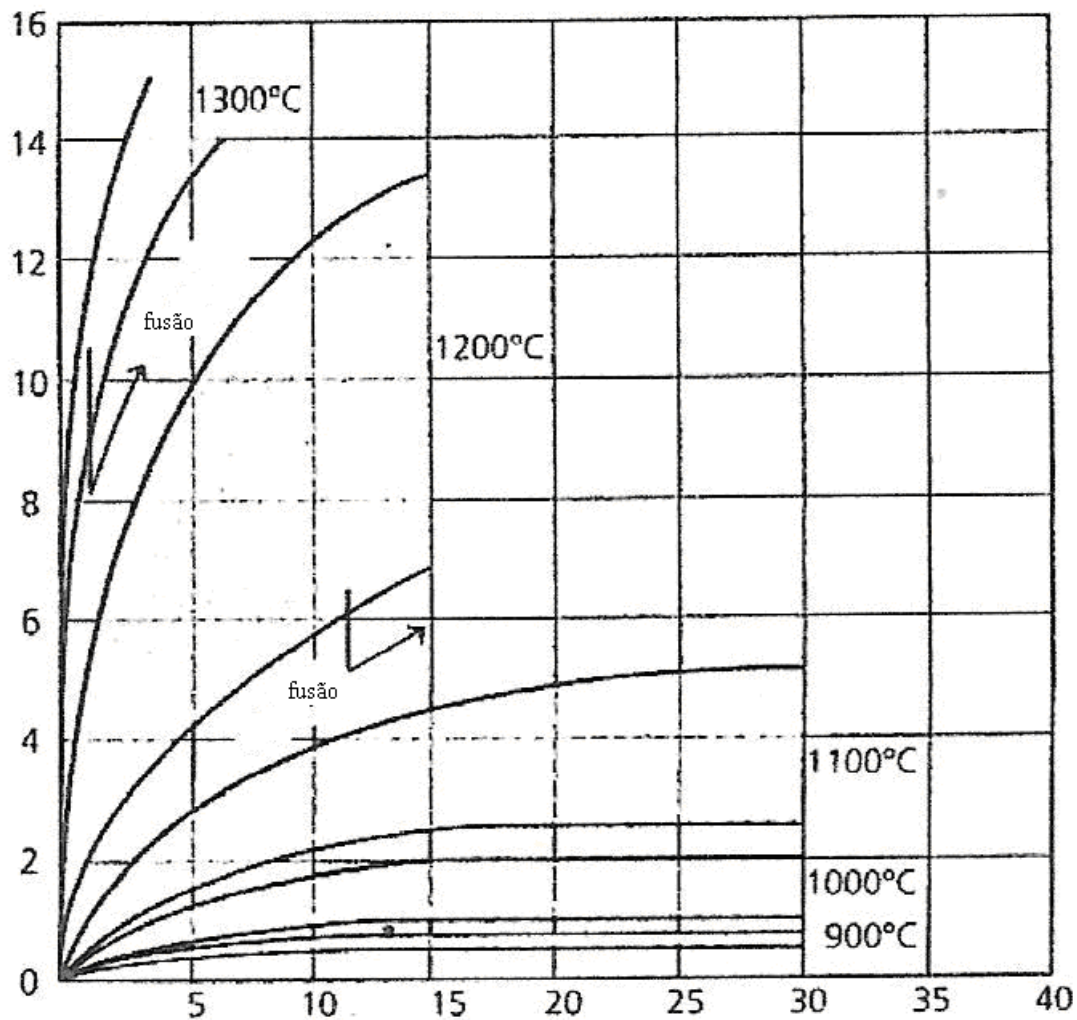
Características microestruturais da cal viva em função da temperatura de cozedura (Rattazzi, 2007, citando Schiele, 1976)

Propriedade	Cozedura amena	Cozedura média	Cozedura forte
Massa volúmica (kg/dm ³)	1,5 - 1,8	1,8 - 2,2	> 2,2
Porosidade total (%)	46 - 55	34 - 46	< 34
Superfície específica segundo BET (m ² /g)	> 1	0,3 - 1	< 0,3

Distribuição granulométrica de cal hidratada em pasta proveniente de calcários transformados a temperaturas diferentes (Rattazzi, 2007, citando Schiele, 1976)

Dimensão das partículas (µm)	Temperatura de cozedura (°C)				
	900	1000	1100	1230	1400
0,001 - 1	95	80	50	25	20
1 - 2	5	15	18	14	6
2 - 6		5	28	36	26
6 - 10			4	21	21
10 - 20				4	25
> 20					2

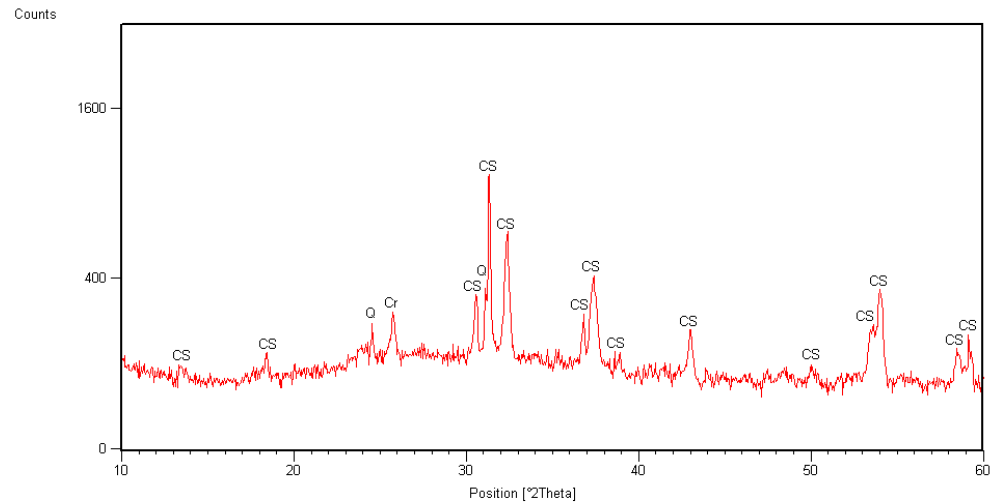
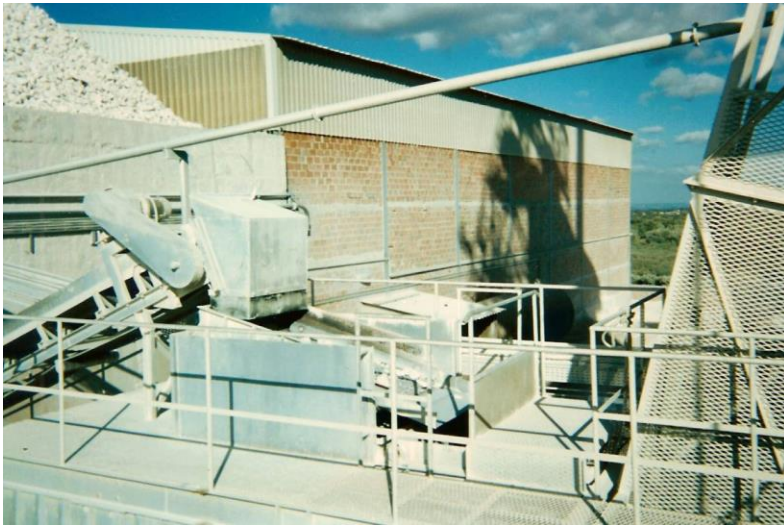
Grandeza das partículas (μm)



Duração da cozadura (h)

Dimensão dos cristais de óxido de cálcio (CaO) em função do tempo de duração e temperatura de cozadura

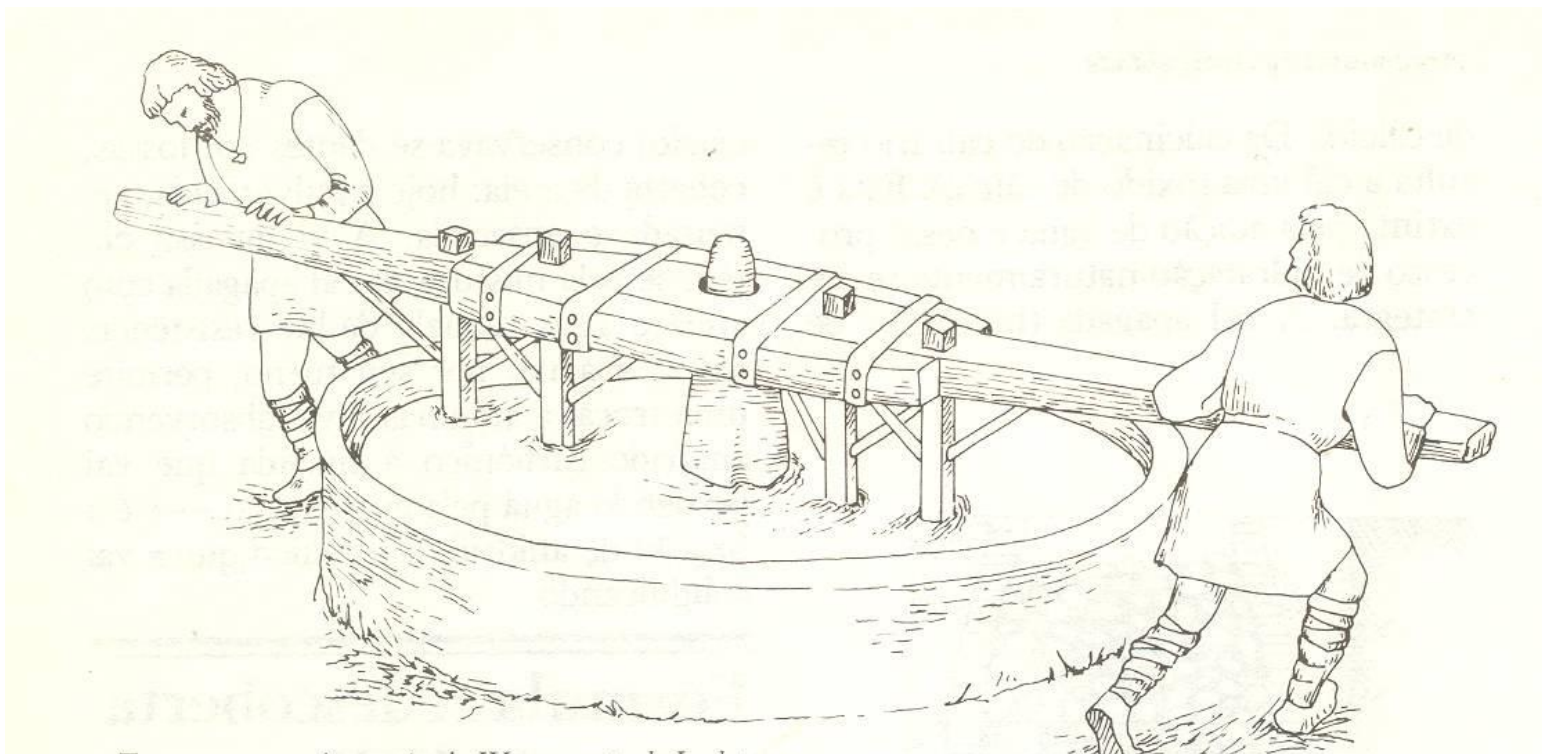
(Rattazzi, 2007, citando Schiele, 1976)



Calcite - CL90
 CaCO_3 99,5%

Composição mineralógica por DRX

CS - silicatos de cálcio
(do tipo belite. $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)
Cr - cristobalite (SiO_2 de alta temperatura)
Q - quartzo (SiO_2)



Tanque para preparação da cal do séc. IX

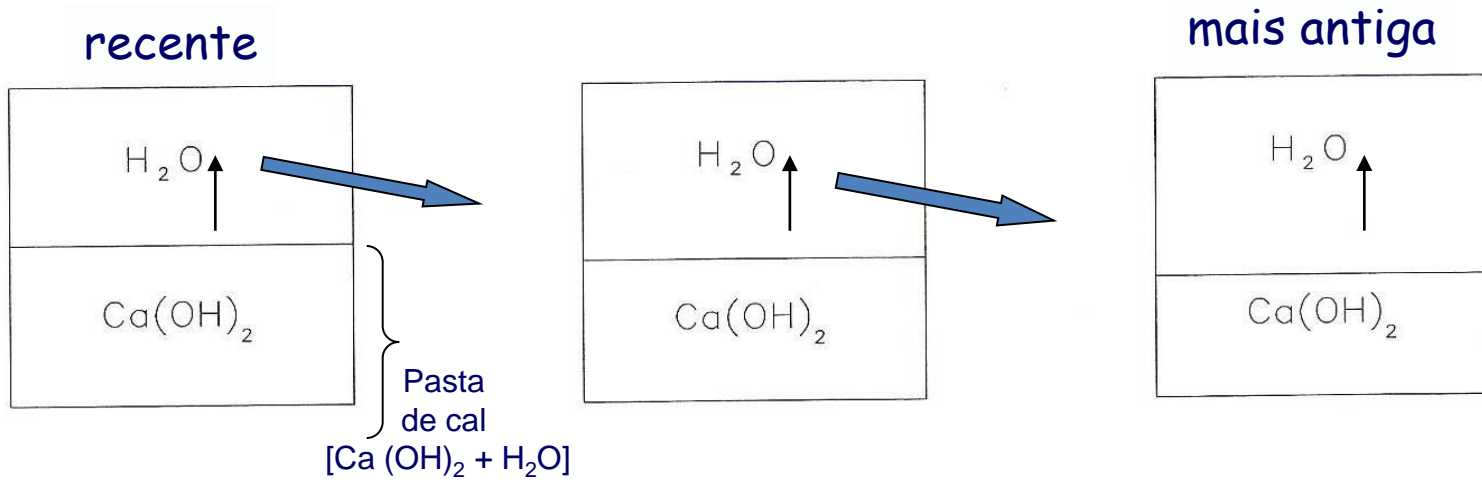
(Alarcão, 1978, retirado de Current Archeology, n.º 46)



Processo de extinção da cal viva
em cal em pasta em Itália
(fotografia cedida pela arquitecta Ewa Malinowski)



Processo de extinção da cal viva em cal em pasta em Móron



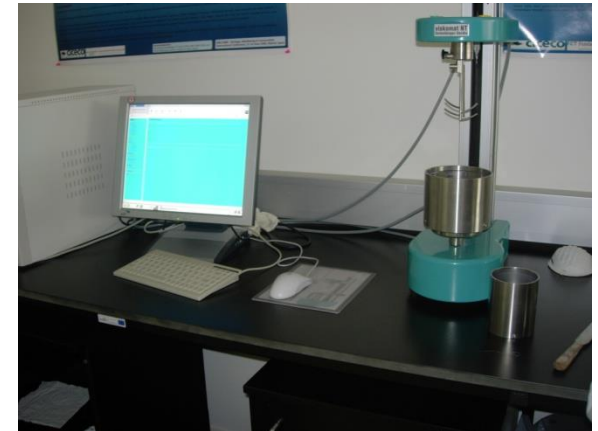
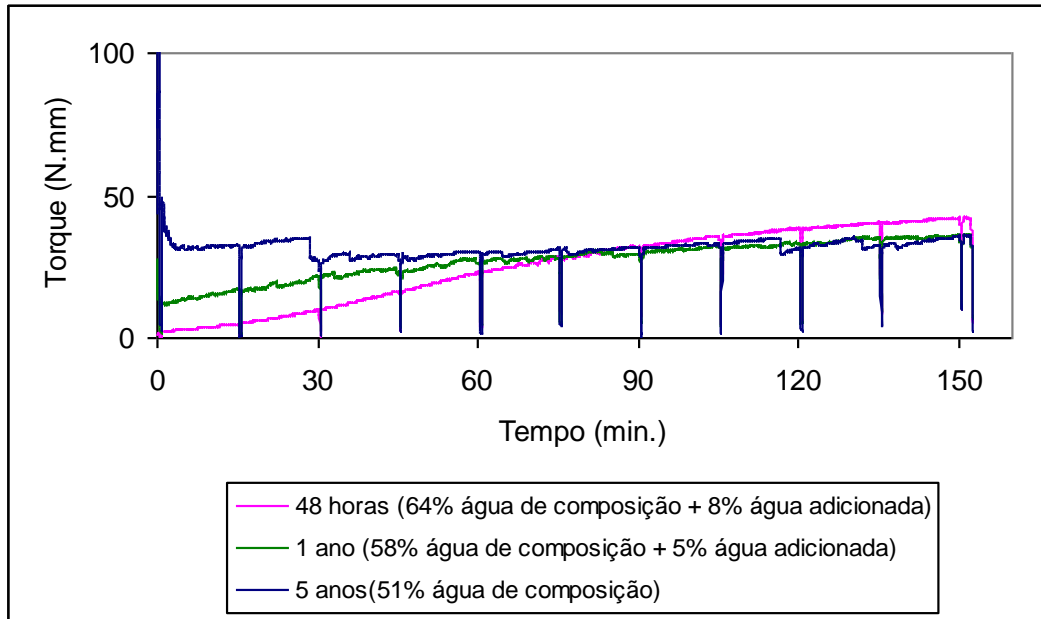
↳ água livre e adsorvida
água quimicamente combinada

PROCESSO
DE
EXTINÇÃO:
água em
excesso



Ca(OH)_2
+
água
(livre,
adsorvida e
quimicamente
combinada)





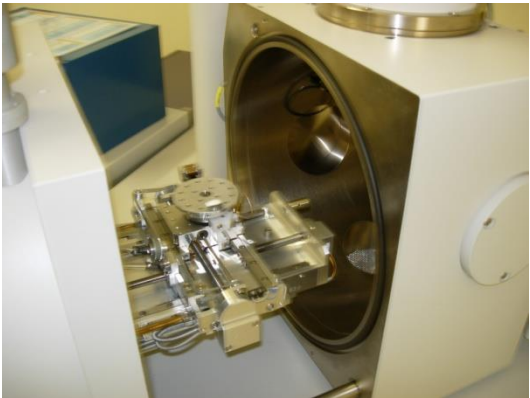
$$\text{Torque} = g + hN \text{ [N.mm]}$$

Valores iniciais de torque (N.mm)	
48 h	1,1
1 ano	12,9
5 anos	43,6





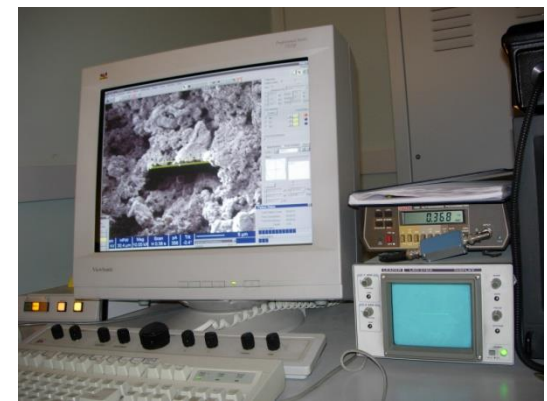
ESEM



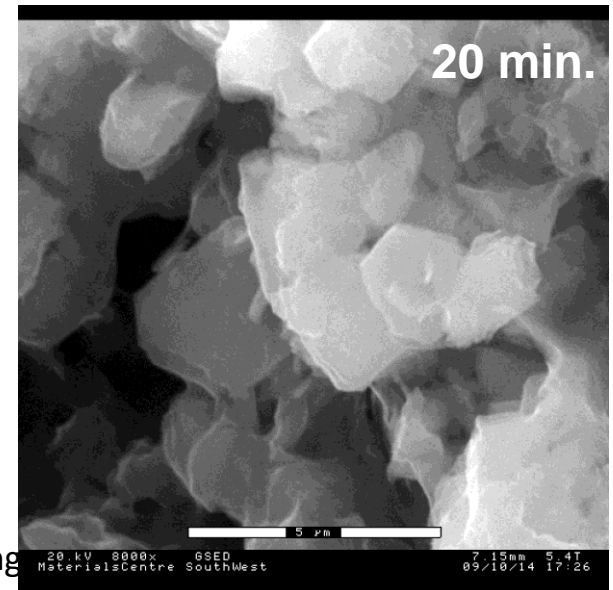
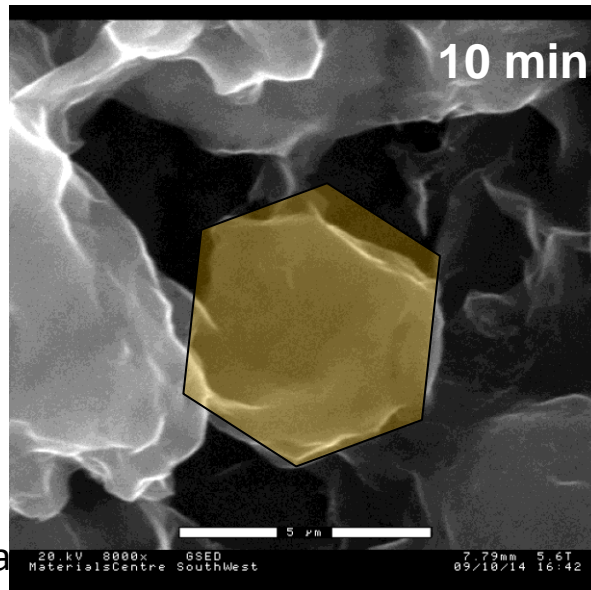
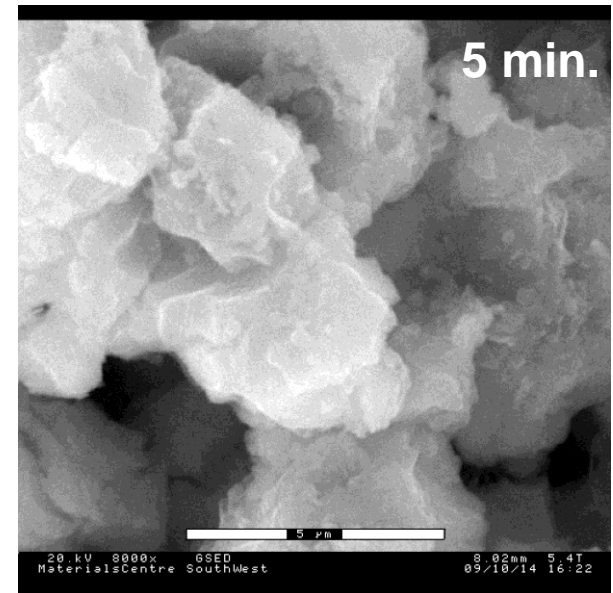
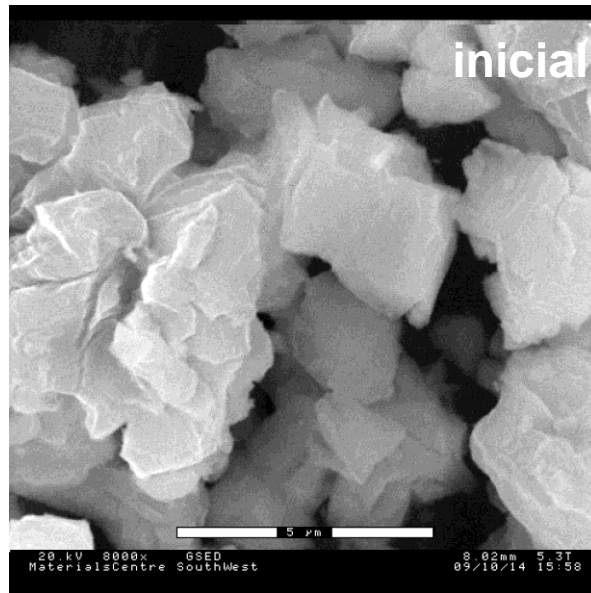
FIB



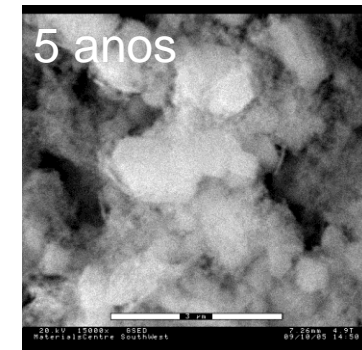
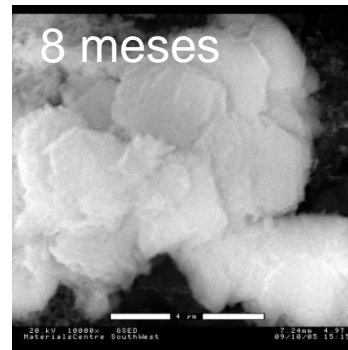
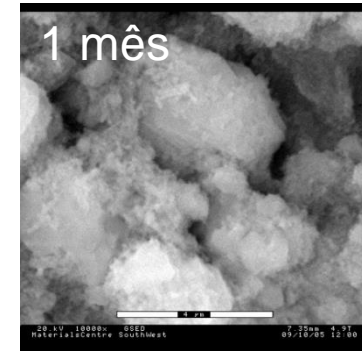
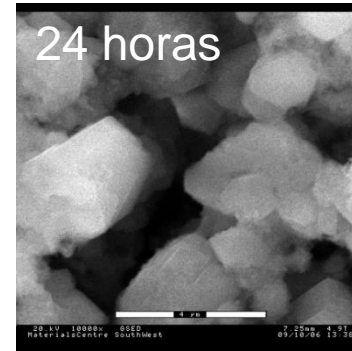
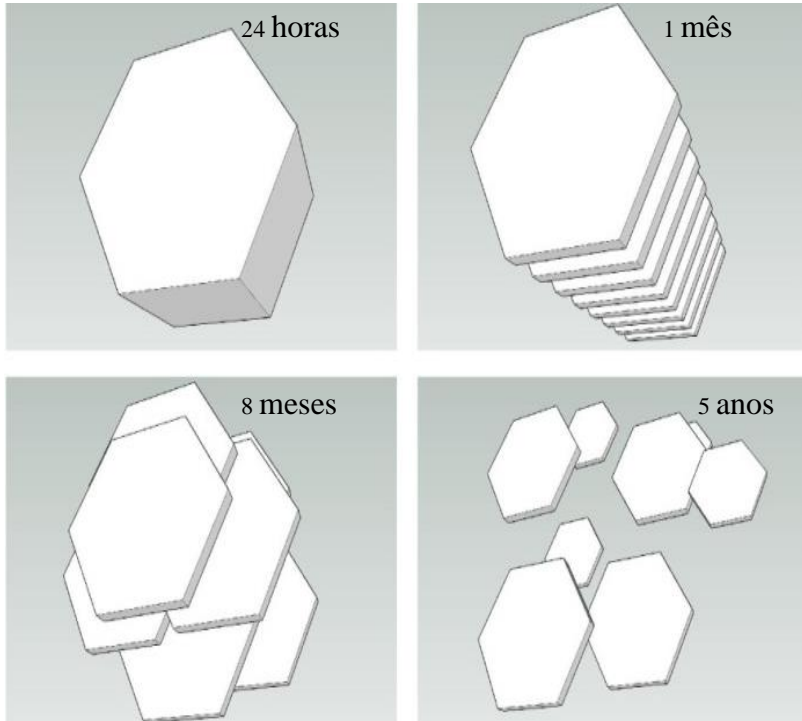
Estudo da
microestrutura da
cal em pasta com
diferentes tempos
de maturação



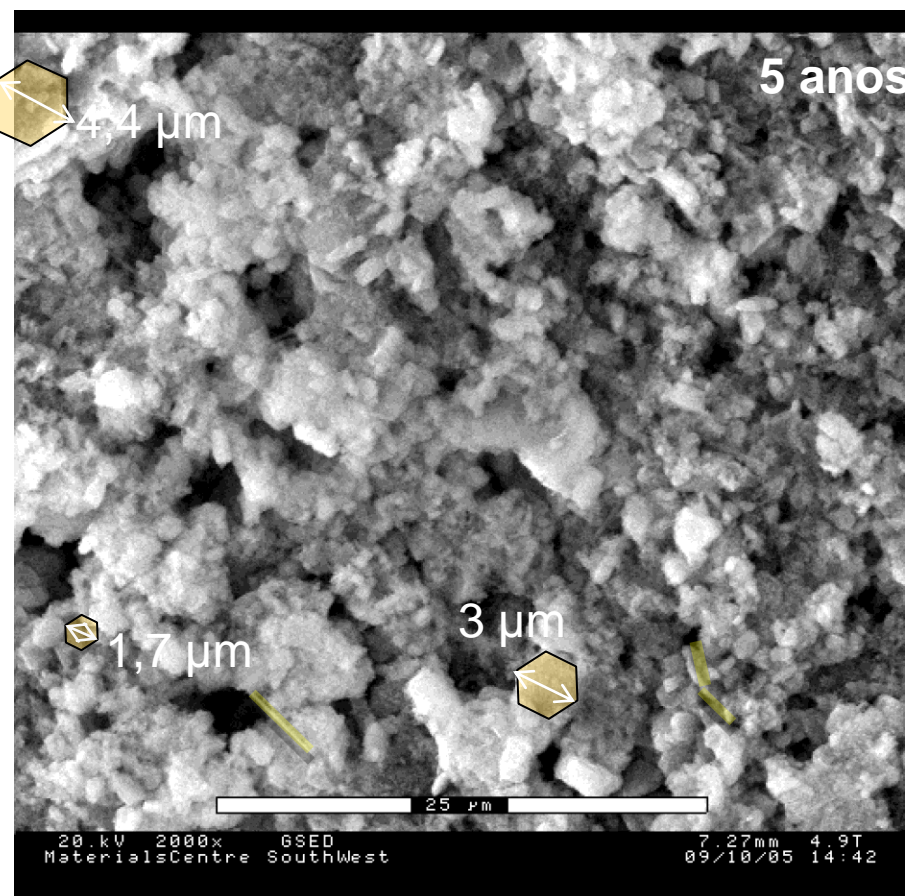
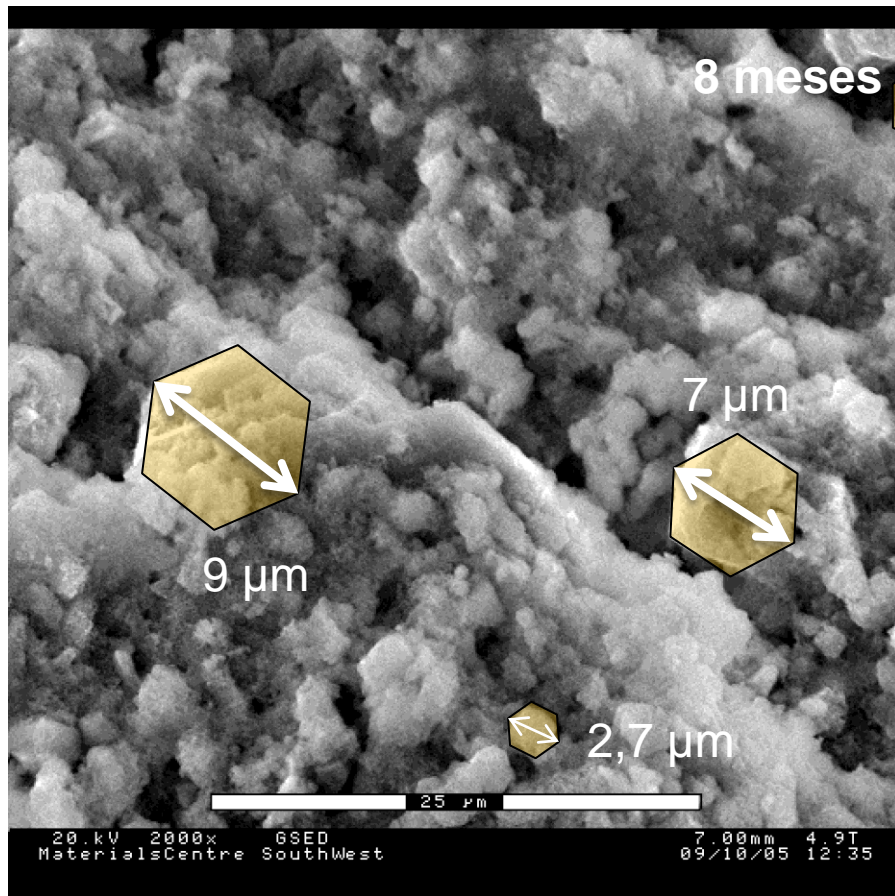
Fase inicial de hidratação do óxido de cálcio no interior da câmara de ESEM.



ESEM

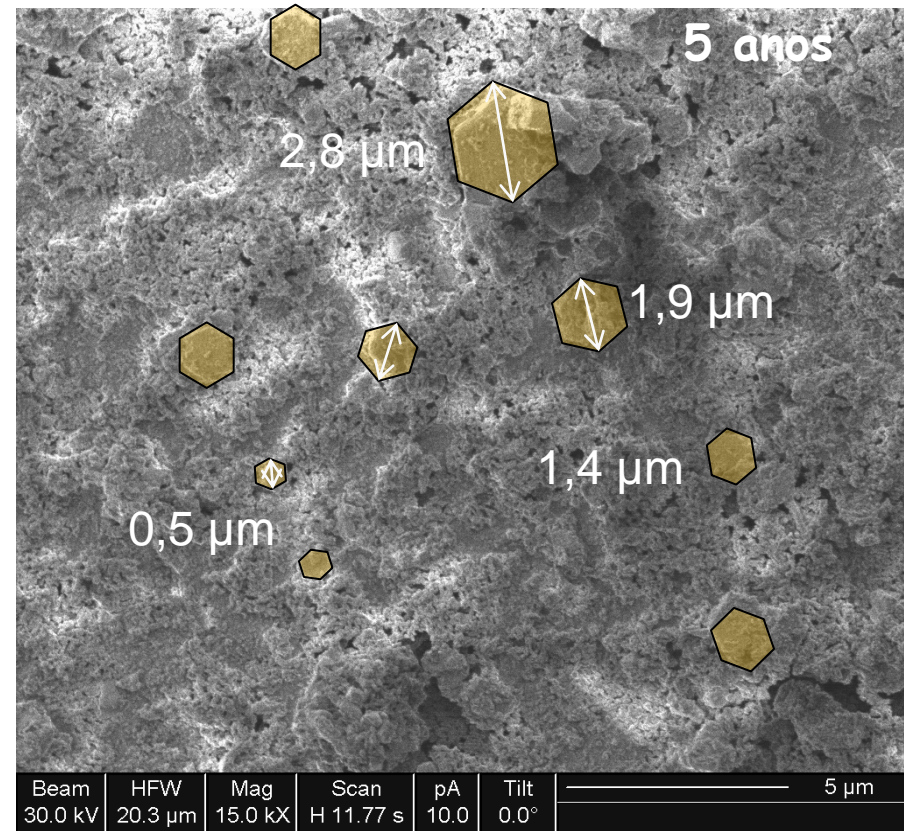
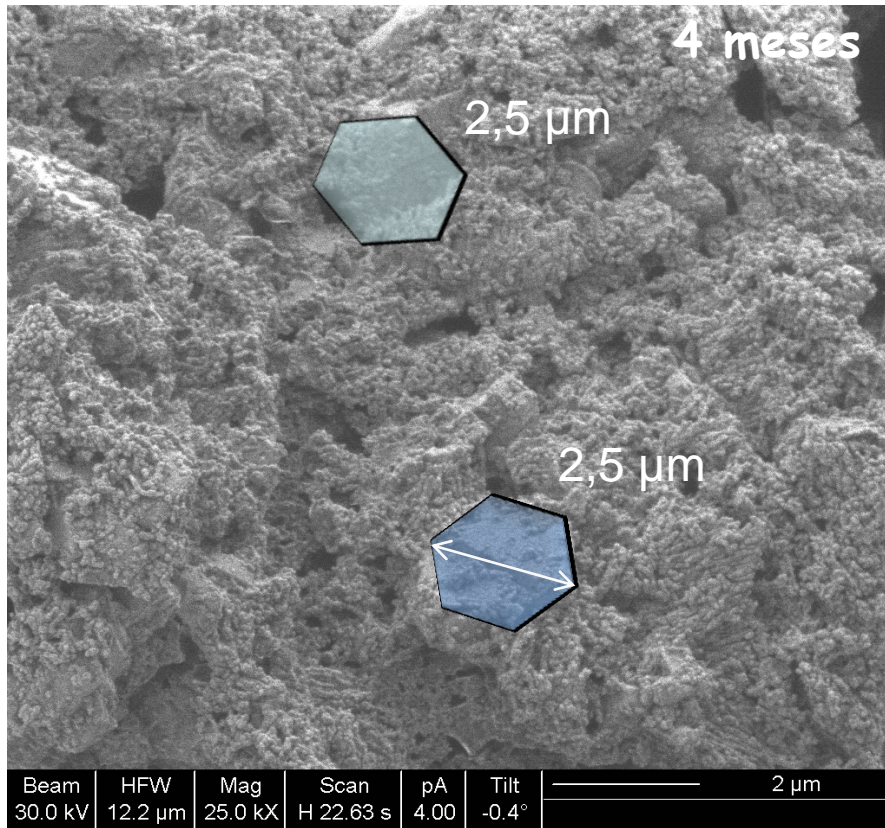


ESEM



ESEM

FIB



Cristais de hidróxido de cálcio:

- nas cais mais antigas, com 5 anos, foram visíveis partículas com diâmetro de 0,5 μm .
- nas cais de 4 meses foram observados cristais com diâmetros da ordem de 2,5 μm .

O *tempo* de maturação da cal em pasta altera as suas características físicas e microestrurais:

- há uma densificação da pasta com perda de água livre;
- a ligação das partículas à água torna-se mais forte;
- os cristais de portlandite tornam-se mais pequenos, diminuem a espessura e orientam-se segundo uma determinada direcção.

Actualmente a produção da cal é quase na totalidade proveniente dos fornos industriais.

Os fornos tradicionais representam uma indústria a desaparecer que merece ser preservada.





V Jornadas FICAL Fórum Ibérico da Cal

Portugal | Lisboa | LNEC | 23 -25 | maio | 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



FICAL
Forum Ibérico da Cal

Fornos tradicionais do Alentejo: processo de fabrico da cal

Maria Goreti Margalha
goreti.margalha@cm-beja.pt