

# V Jornadas FICAL Fórum Ibérico da Cal

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



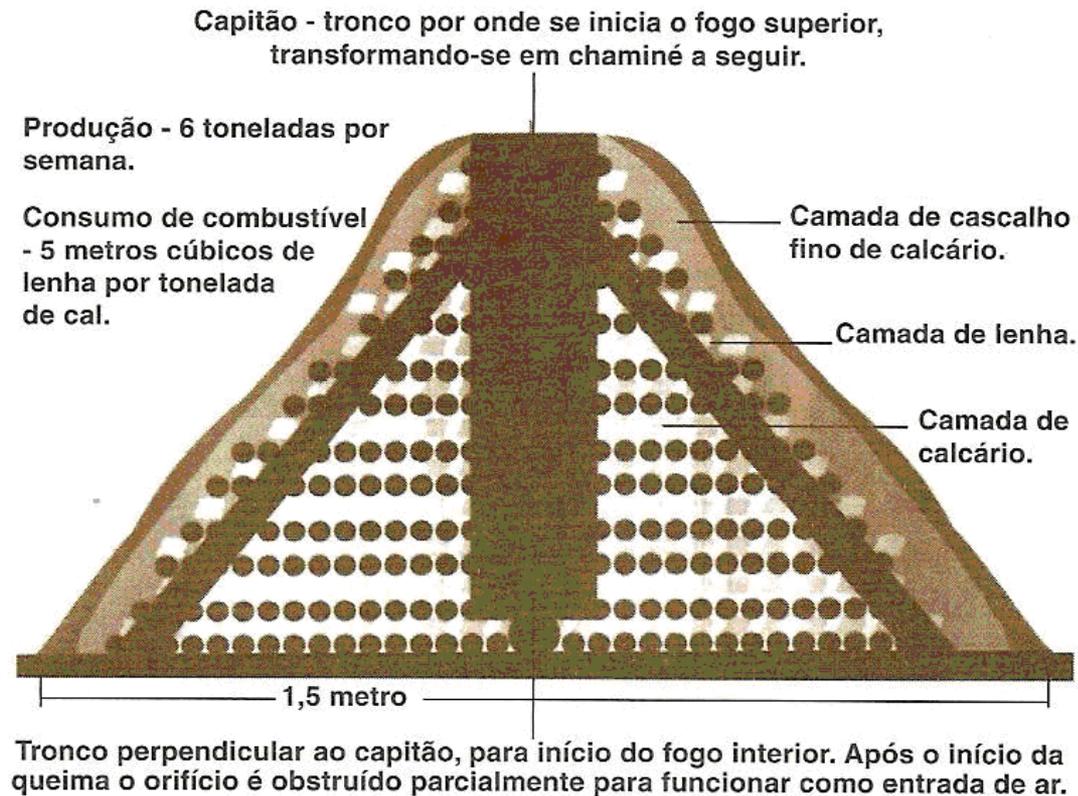
LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL



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.

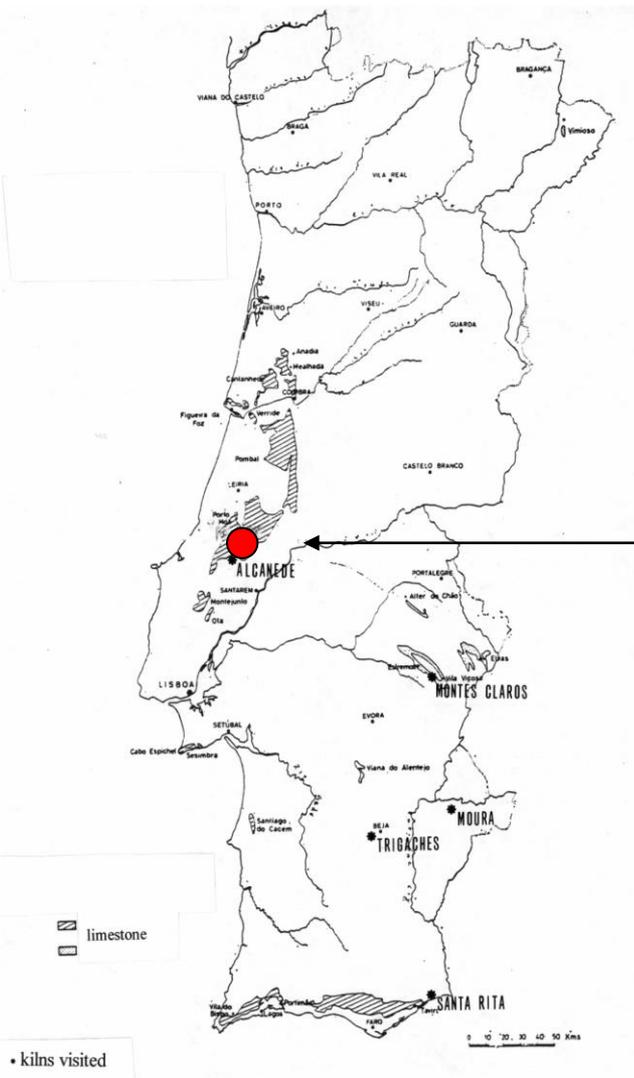
Meda para o fabrico de cal (Guimarães, 2002)

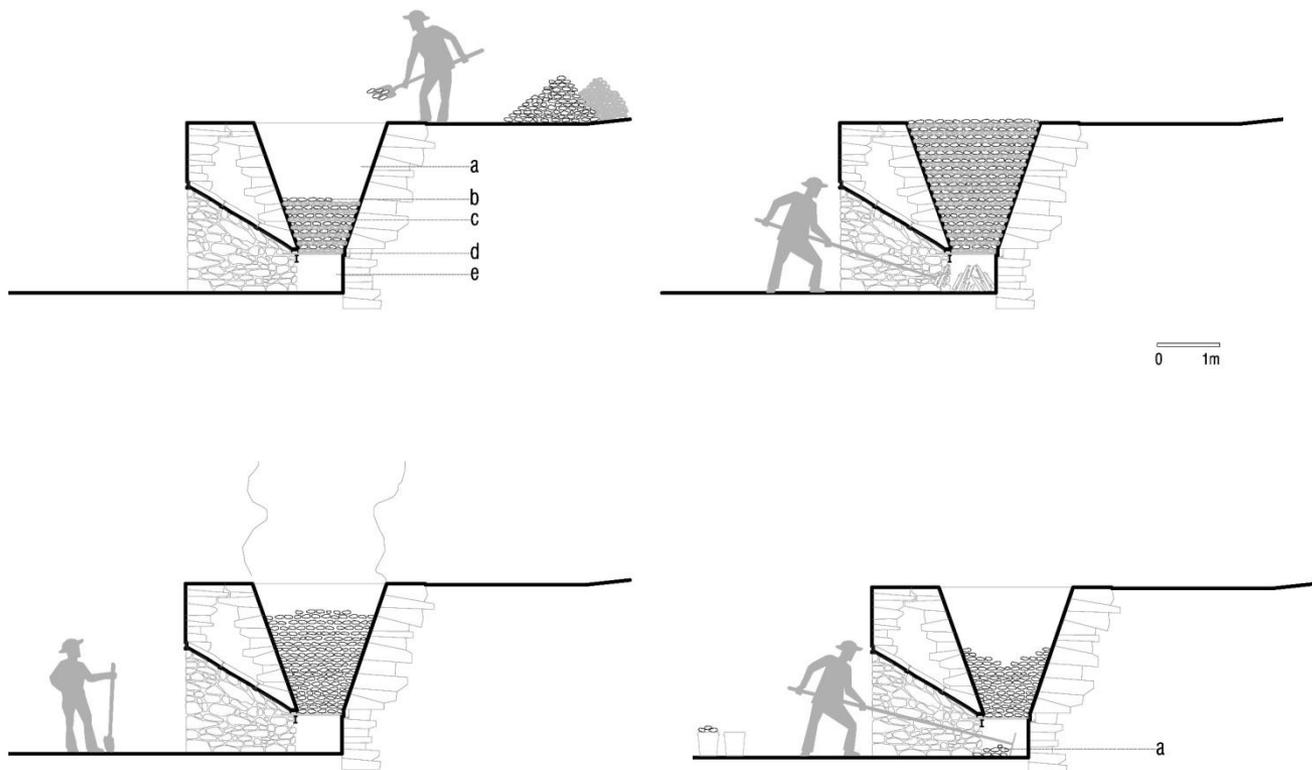


Forno do tipo contínuo em Dine,  
Montesinho (fotografia cedida pelo arquitecto José  
Aguiar)



## Documentação do forno do tipo contínuo em Dine, Montesinho





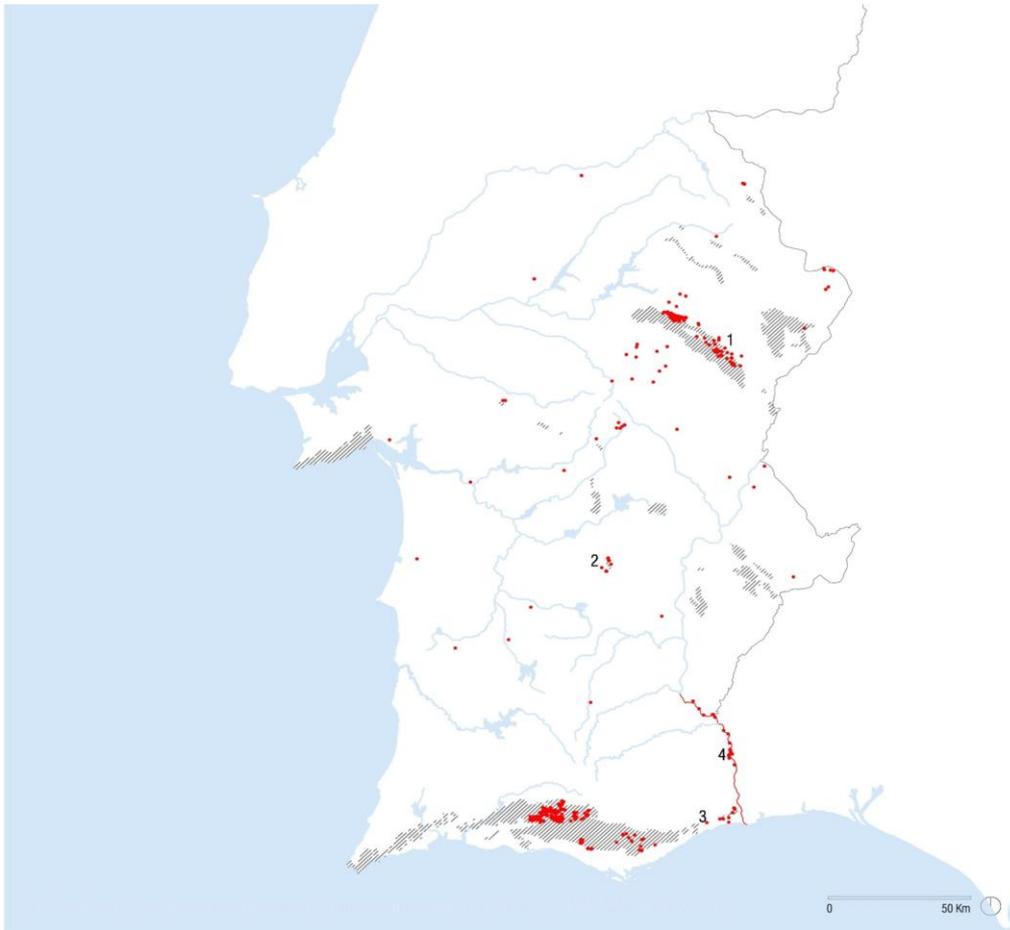
## Pomarão

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







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

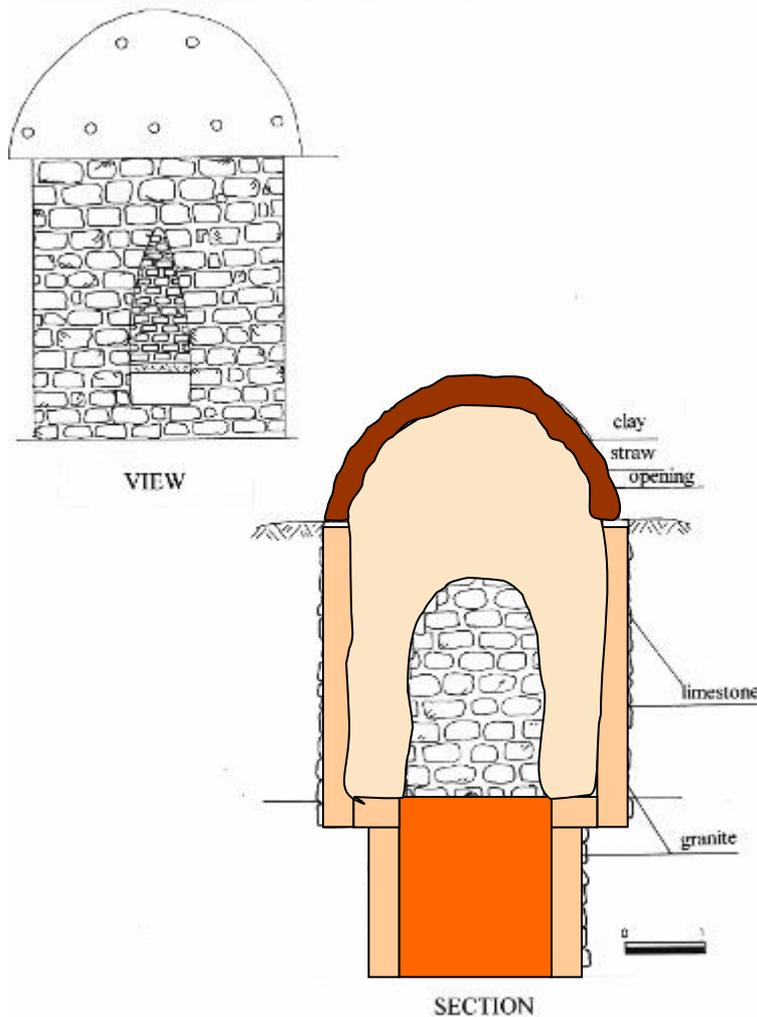
A estrutura circular do forno é em granito.

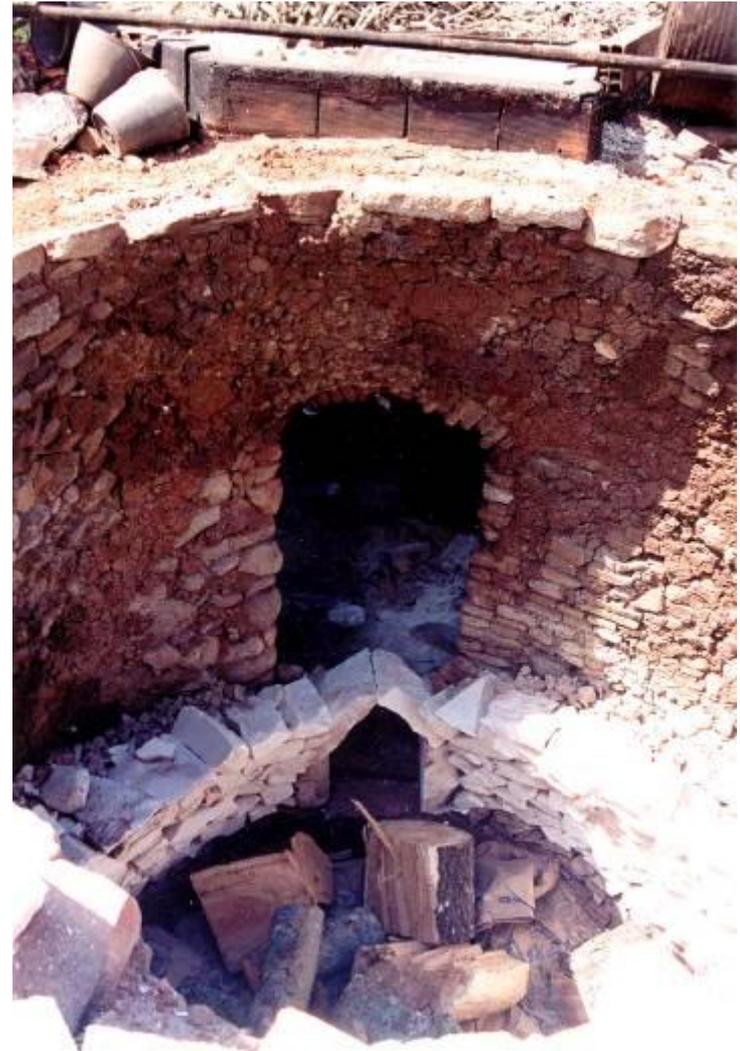
O combustível utilizado são madeira e pequenos arbustos de preferências verdes.

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  $\text{CaCO}_3$   $\rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
- 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.



Monte de calcinação de pedra calcária e resíduos sólidos de um forno de cal

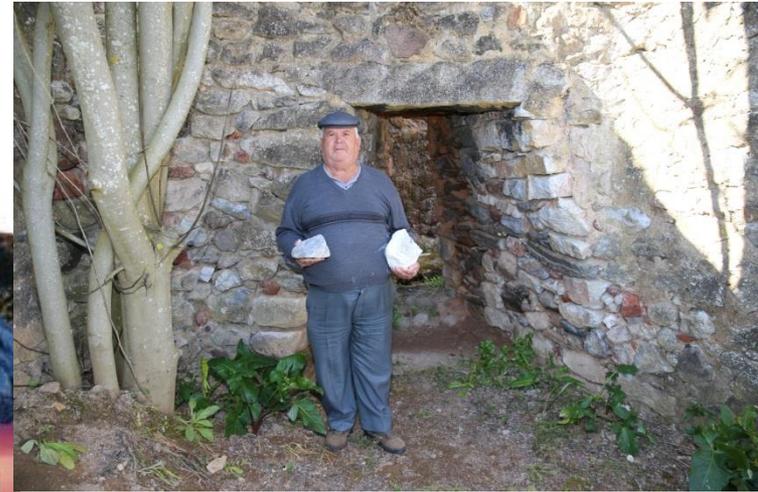
# PASSEIOS NA NATUREZA

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 calcinação se está a preparar. É visível um fumo negro, diziam os antigos, a sair pela abertura da alameda construída com barro. A produção deste processo é impulsionada pelo vapor de fogo negro libertado que se mistura com o oxigénio do grande volume que ajuda a total transformação do carbonato de cálcio no óxido de cálcio. Nesta altura, não é adicionado mais lenha e aquece-se o acrefracimento da cal viva que depois de moçada recubrir com material de cobertura.



Produção de calido de calido em forno de calido



Forno de calido em produção de calido, mostrando a produção de calido de calido em forno de calido



www.cm-beja.pt  
facebook.com/comunicacao120972



www.cm-beja.pt  
facebook.com/comunicacao120972

# 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

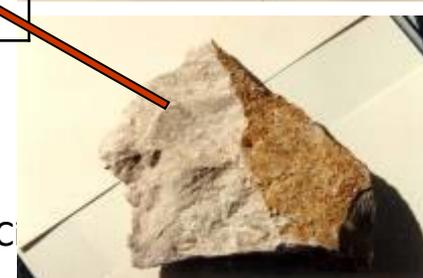
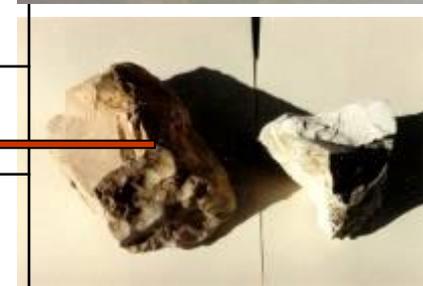
Composição mineralógica das cais pretas (% em massa dos minerais)

Localização (cor)	Tipo de forno	CaCO <sub>3</sub>	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Outros
<b>Montes Claros (castanho)</b>	<b>tradicional</b>	<b>vestígios</b>	<b>94.6</b>	<b>5</b>
<b>S.<sup>ta</sup> Rita (cinzento com laivos pretos)</b>	<b>tradicional</b>	<b>vestígios</b>	<b>95.8</b>	<b>4</b>



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

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



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

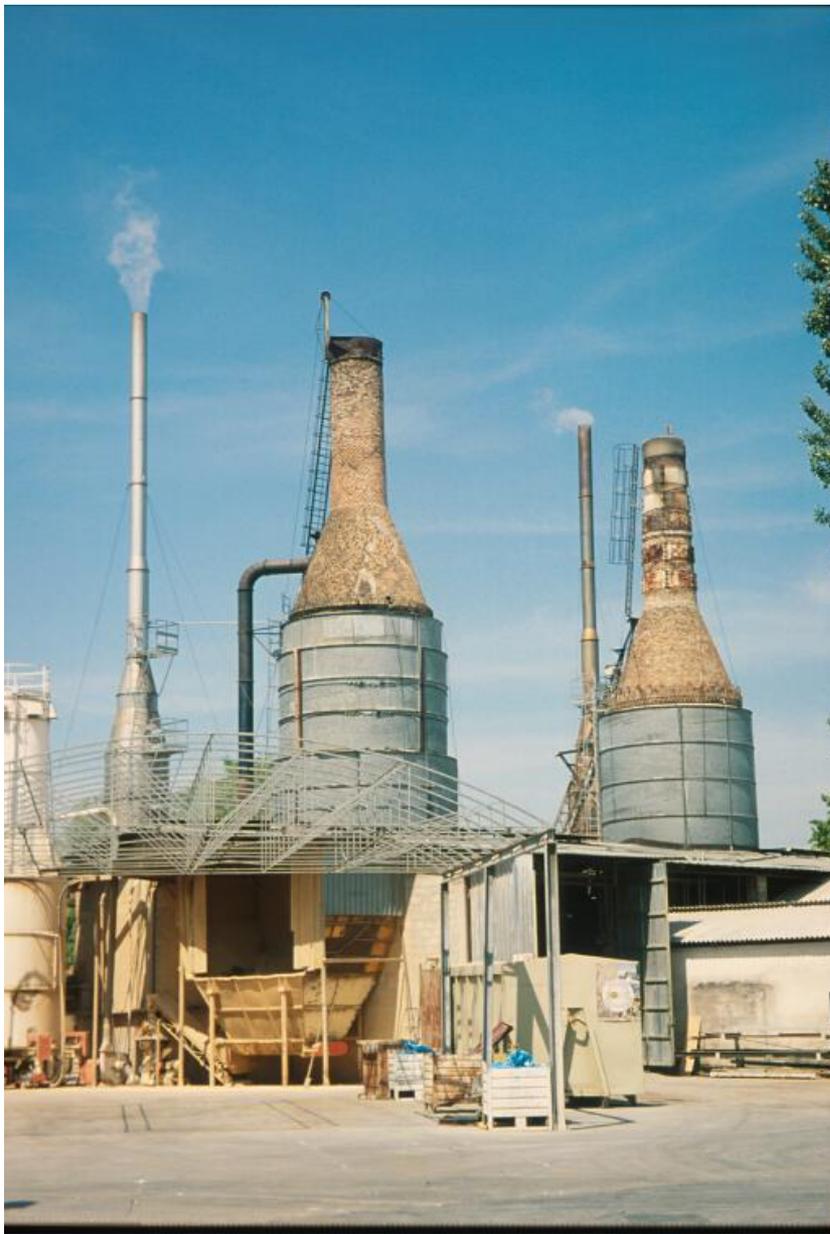
	Perda ao rubro	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>
Branca	27.9	71.4	-	0.3	0.1	0.05	0.2
Castanha	25.9	45.9	25.5	1.2	0.01	1.6	0.01



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**

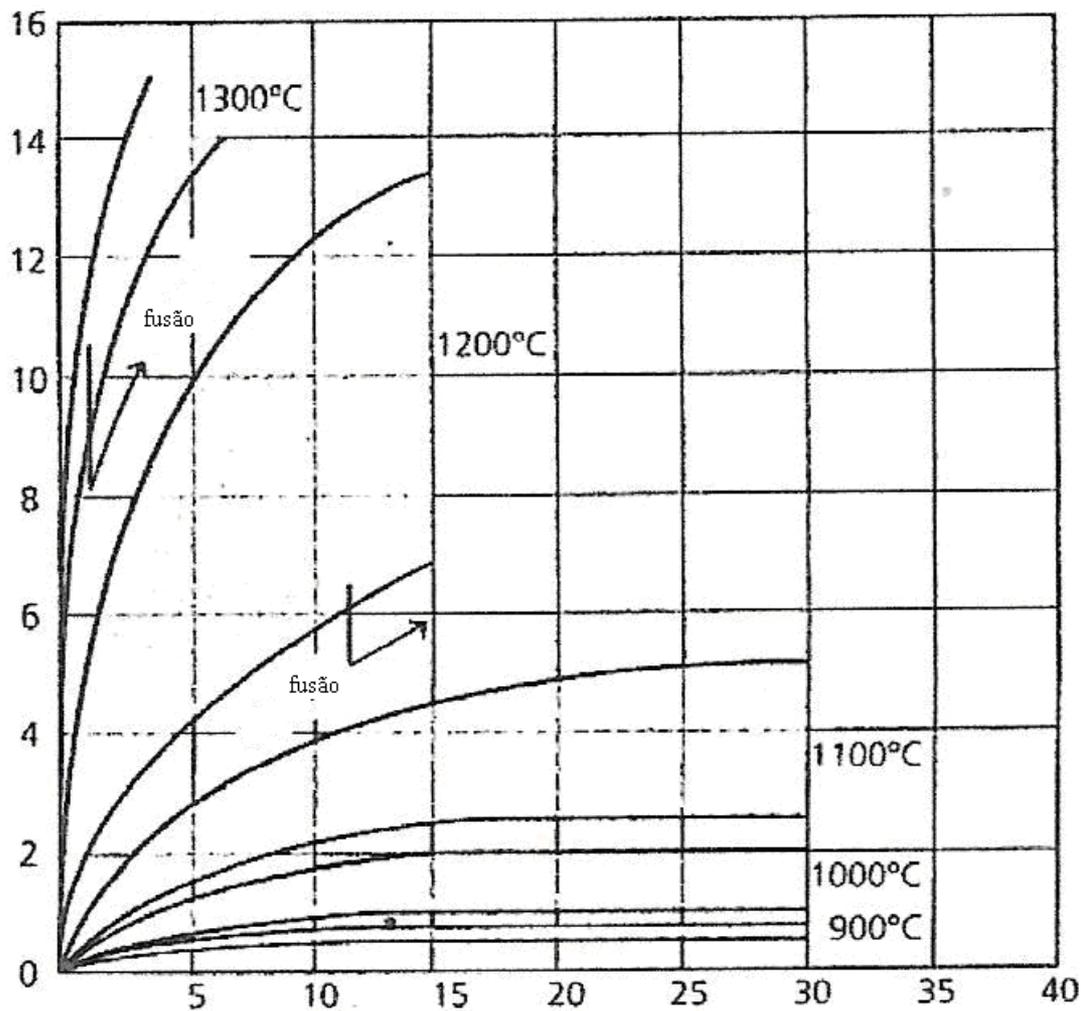
Características microestruturais da cal viva em função da temperatura de cozedura (Rattazzi, 2007, citando Schiele, 1976)

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

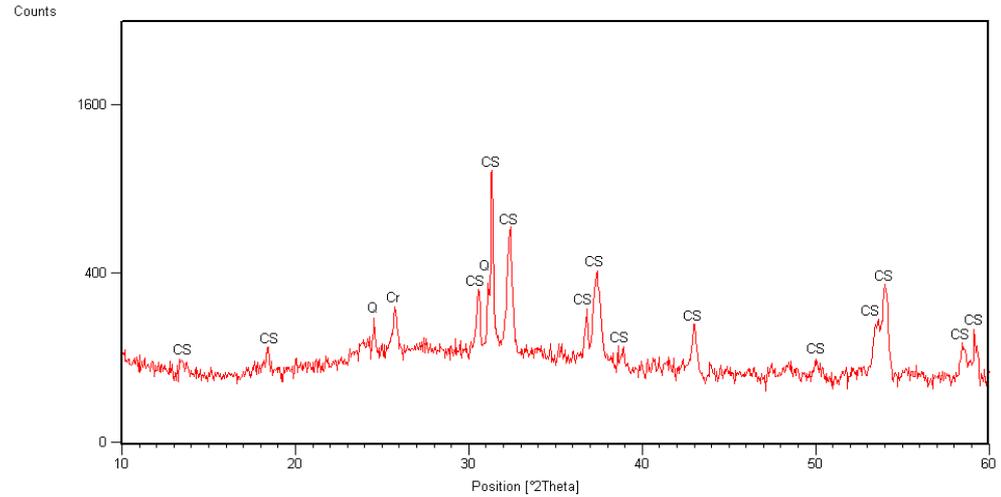
Grandeza das partículas ( $\mu\text{m}$ )



Duração da cozedura (h)

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

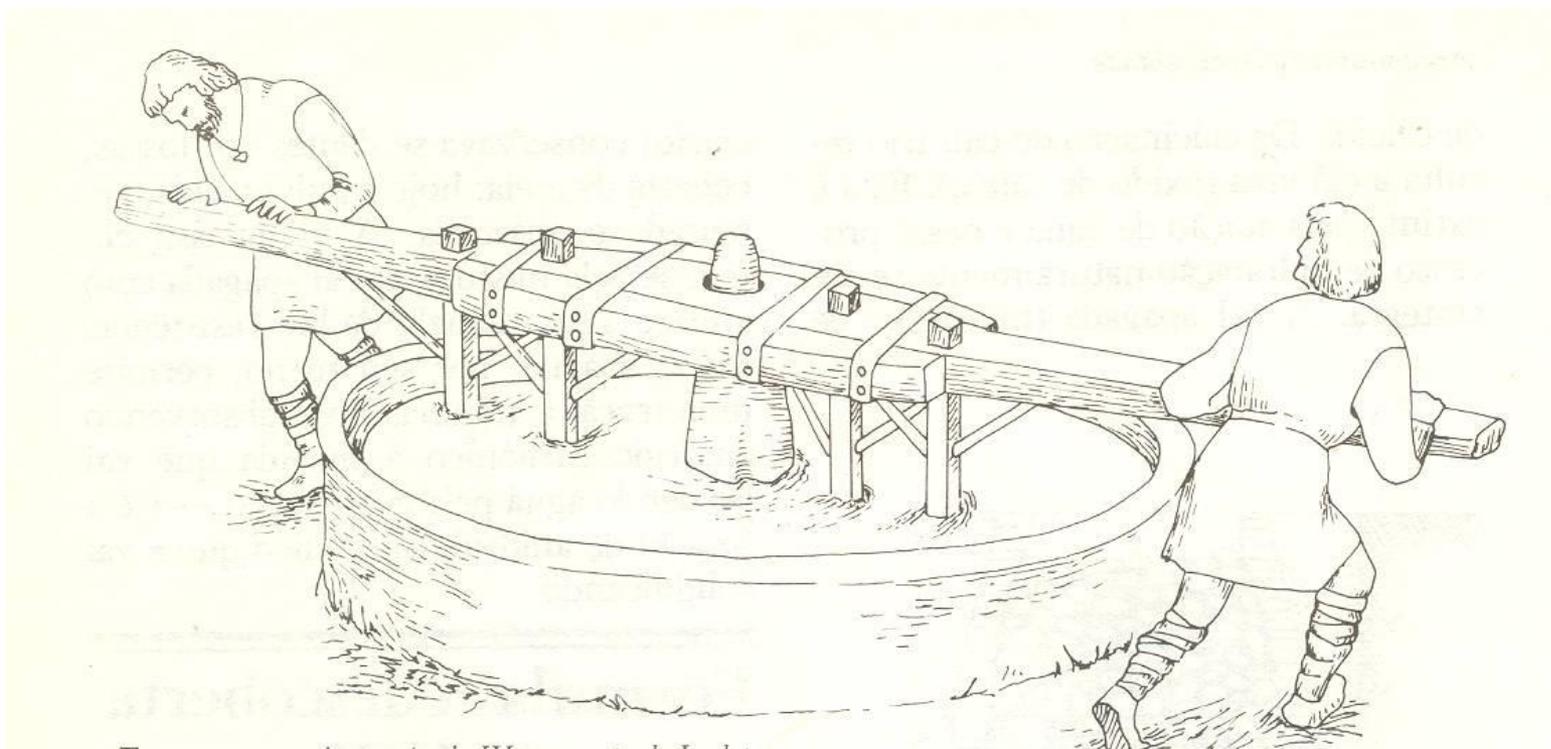
(Rattazzi, 2007, citando Schiele, 1976)



Calcite - CL90  
 $\text{CaCO}_3$  99,5%

### Composição mineralógica por DRX

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



## Tanque para preparação da cal do séc. IX

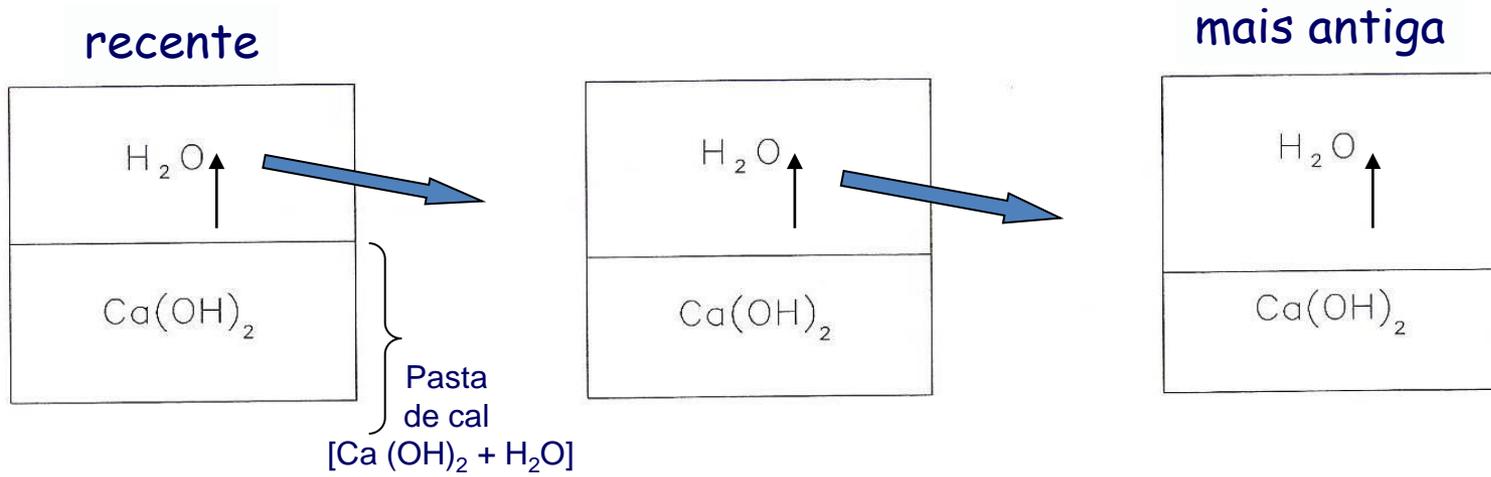
(Alarcão, 1978, retirado de Current Archeology, n.º 46)



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

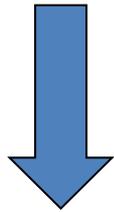


Processo de extinção da cal viva em cal em pasta em Móron



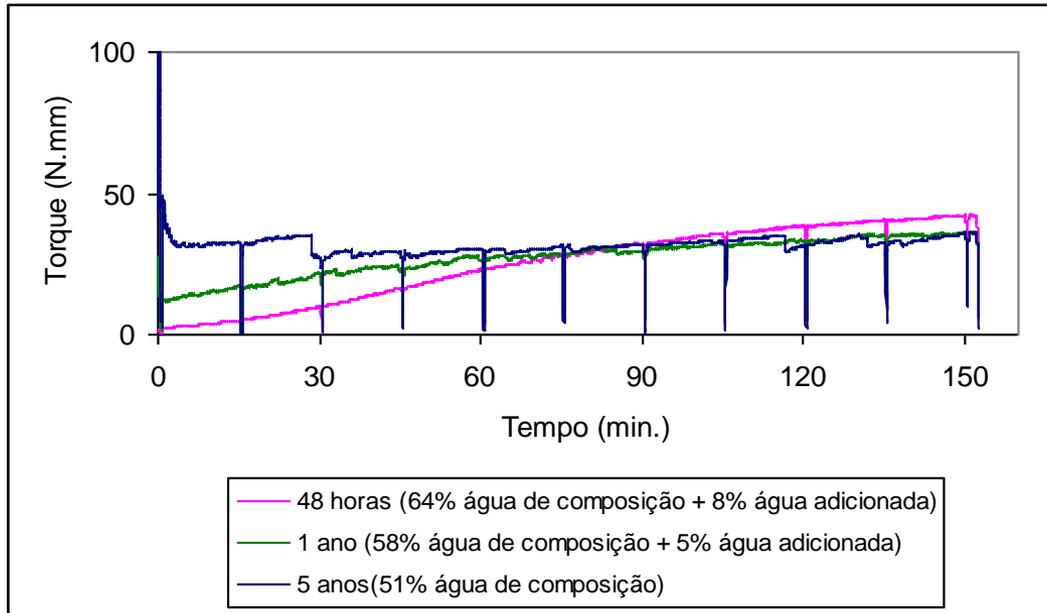
↳ água livre e adsorvida  
água quimicamente combinada

PROCESSO  
DE  
EXTINÇÃO:  
água em  
excesso



$\text{Ca(OH)}_2$   
+  
água  
(livre,  
adsorvida e  
quimicamente  
combinada)





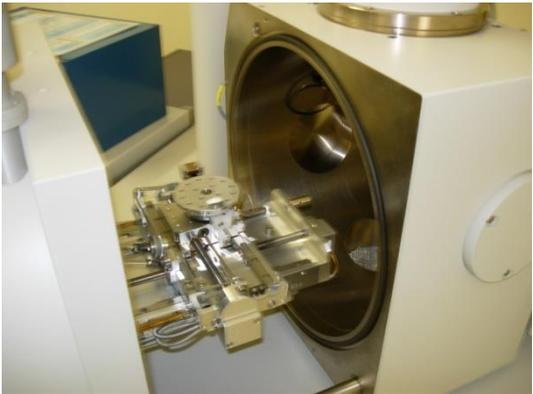
$$\text{Torque} = g + hN \text{ [N.mm]}$$

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





ESEM



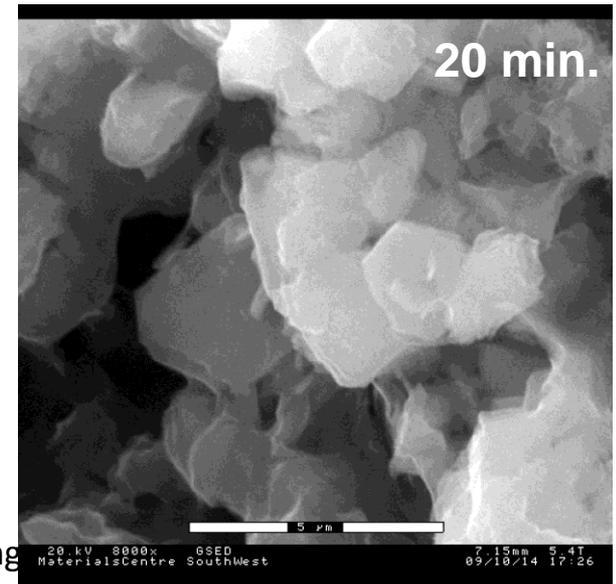
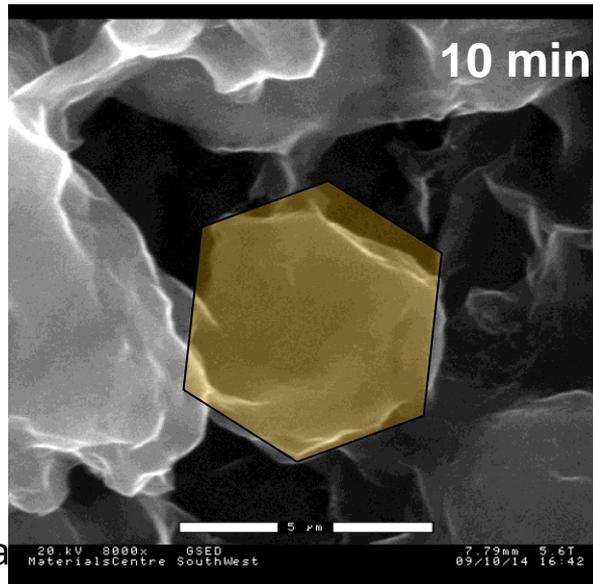
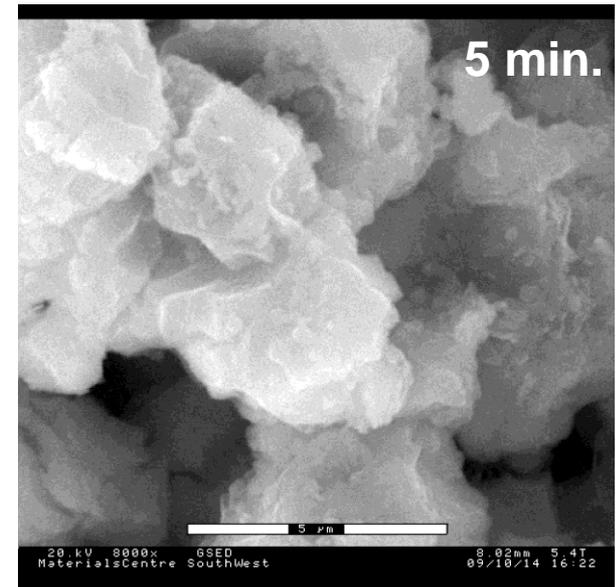
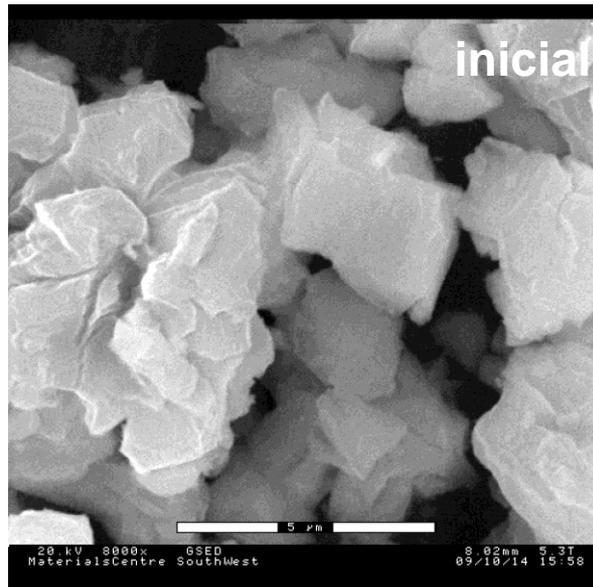
FIB



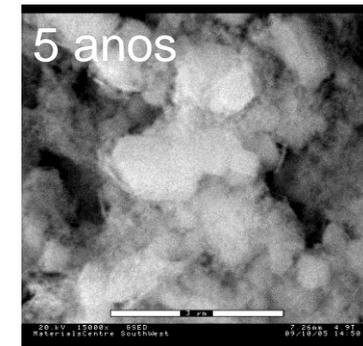
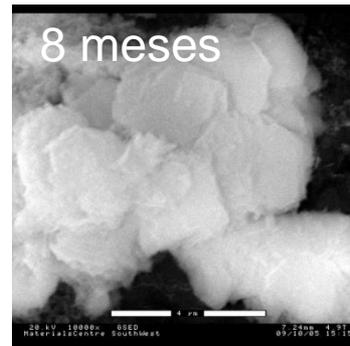
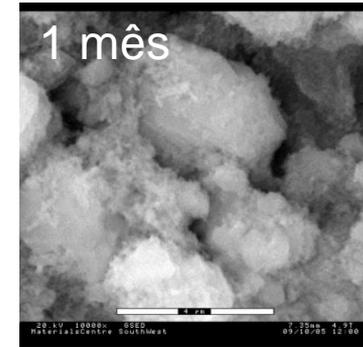
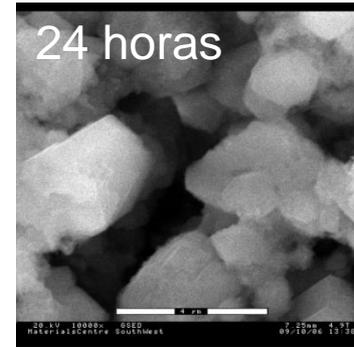
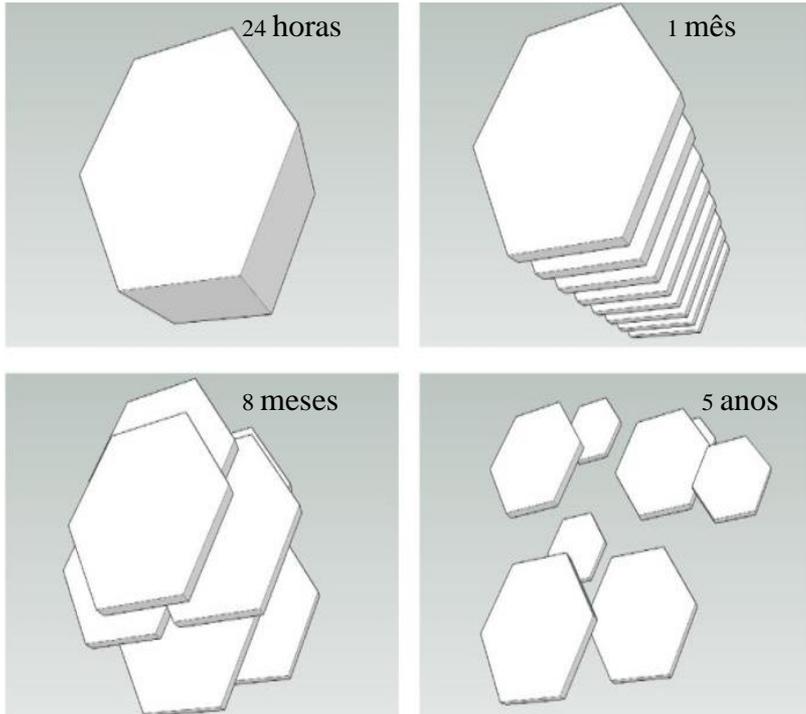
Estudo da  
microestrutura da  
cal em pasta com  
diferentes tempos  
de maturação



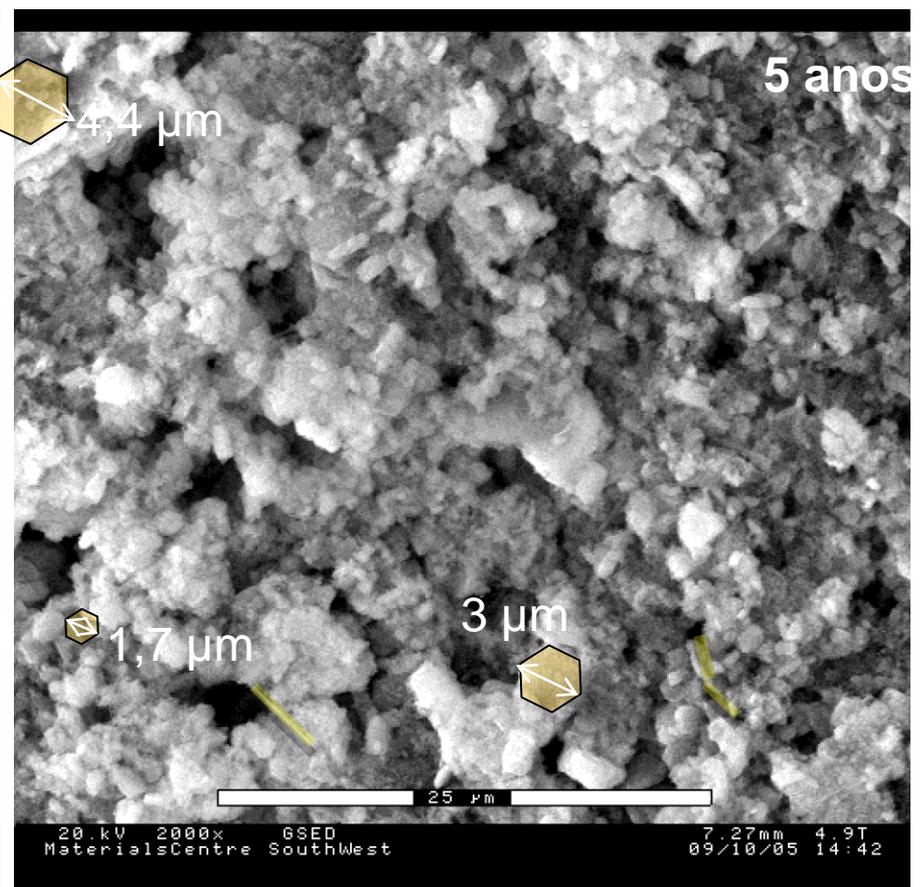
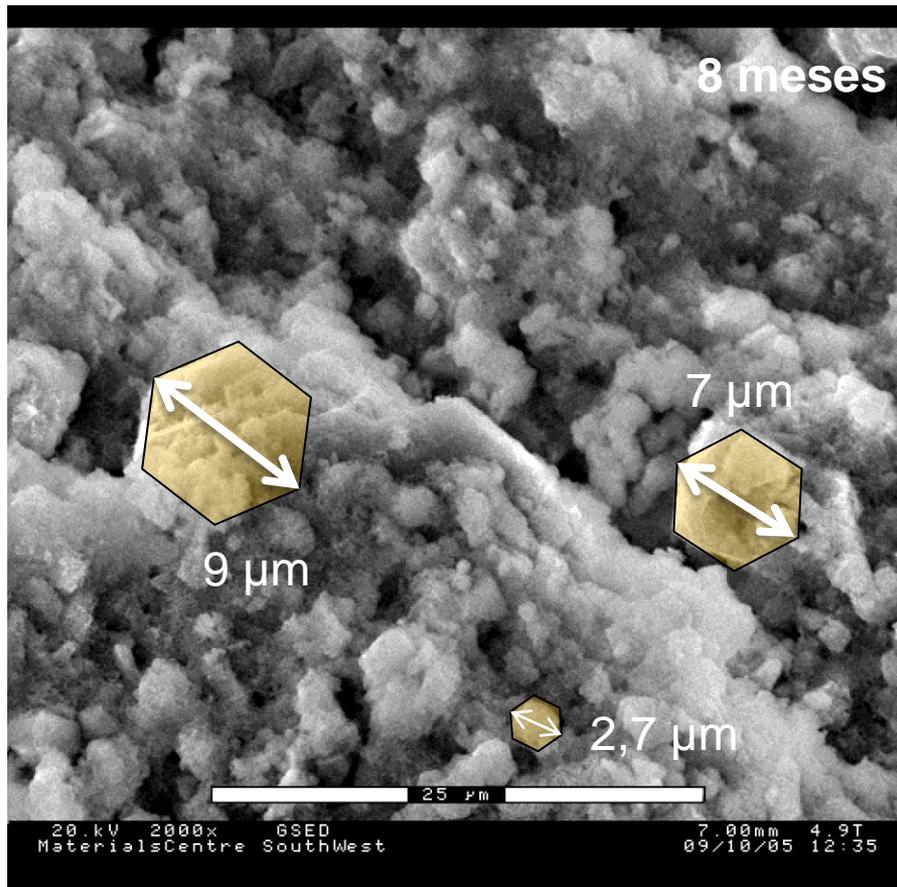
Fase inicial de hidratação do óxido de cálcio no interior da câmara de ESEM.



ESEM

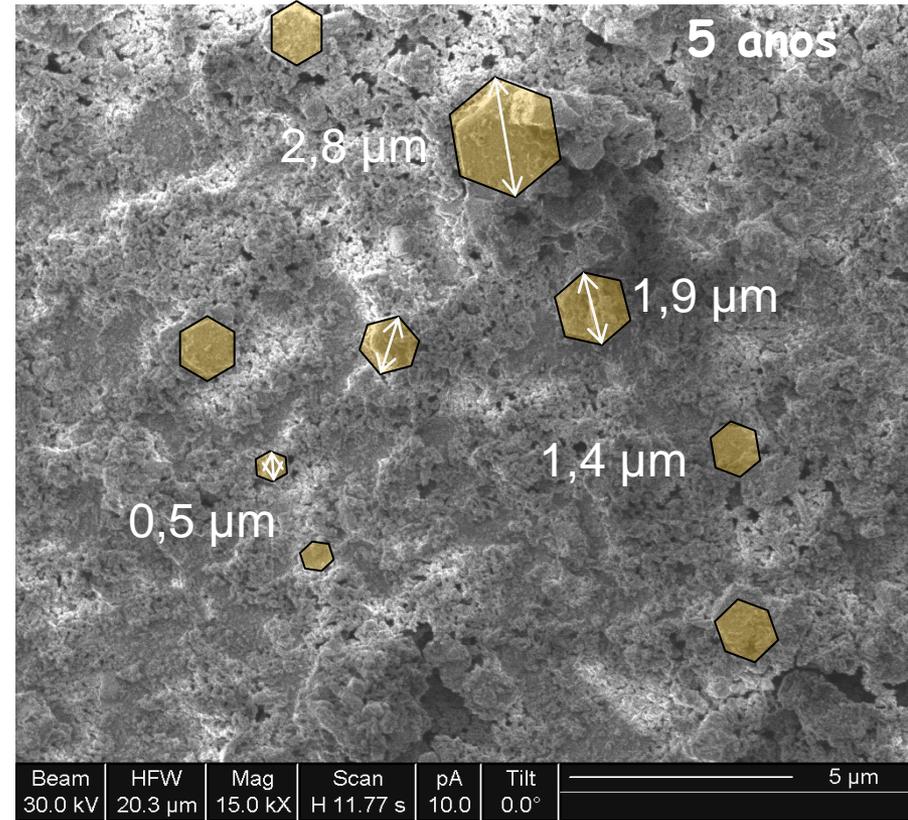
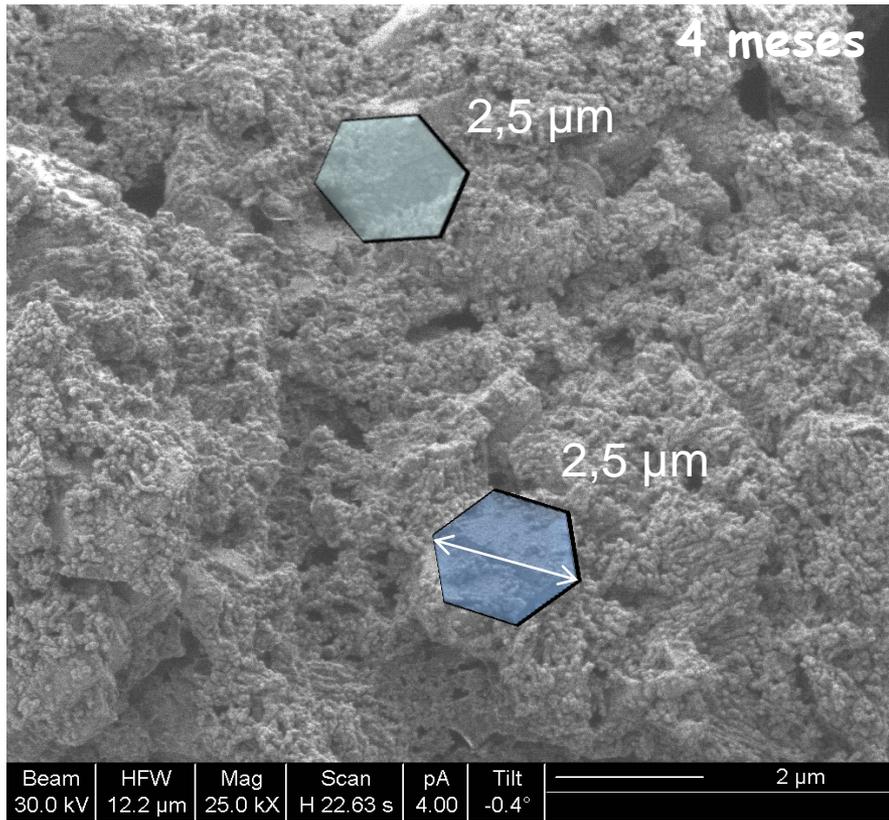


ESEM



ESEM

## FIB



### Cristais de hidróxido de cálcio:

- nas cais mais antigas, com 5 anos, foram visíveis partículas com diâmetro de 0,5  $\mu\text{m}$ .
- nas cais de 4 meses foram observados cristais com diâmetros da ordem de 2,5  $\mu\text{m}$ .

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 de la Cal

## Fornos tradicionais do Alentejo: processo de fabrico da cal

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