



## Preâmbulo

A caracterização de revestimentos e argamassas antigas permite a obtenção de importante informação sobre a **história dos edifícios e monumentos**, nomeadamente sobre a época e contexto da construção, sobre eventuais reparações e na avaliação do seu desempenho, e principalmente, com os melhores casos de “sobrevivência”, o **desenvolvimento ou melhoria do comportamento dos materiais e tecnologias**



Em alguns monumentos é possível verificar que as argamassas de cal mesmo quando sujeitas a condições de exposição severas são muito resistentes e duráveis apresentando essencialmente defeitos superficiais.

No entanto, alguns desses monumentos e edifícios têm sofrido de recentes intervenções, frequentemente incompatíveis com os materiais antigos, produzindo uma degradação muito severa





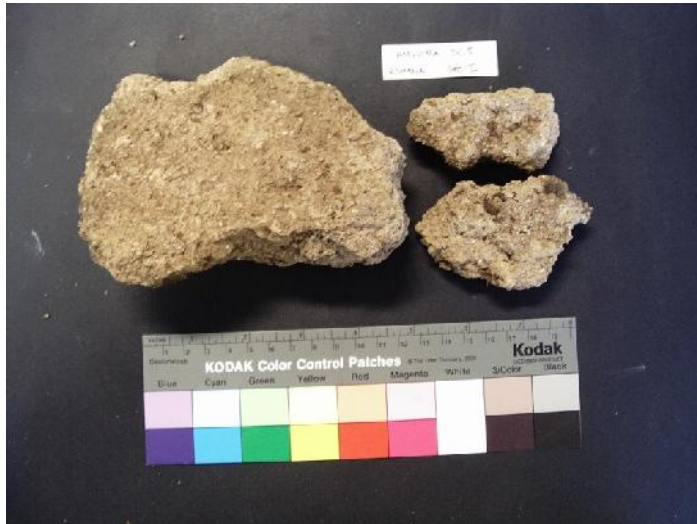
Em Portugal os nossos monumentos são essencialmente **edifícios pétreos** pelo que numa intervenção é necessário ter conhecimentos sobre:

- O tipo, ou tipos, de rochas utilizadas e seu estado de conservação
- O tipo, ou tipos, **de argamassas** utilizadas e seu estado de conservação
- A existência, ou não, de outros elementos construtivos como azulejos, metais, madeiras, etc. e a forma como estes interatuam com o edifício.



# O que é uma argamassa?

Uma **argamassa** pode ser definida como uma mistura íntima de:



**um ou mais ligantes** (cal aérea, cal hidráulica, cimento)

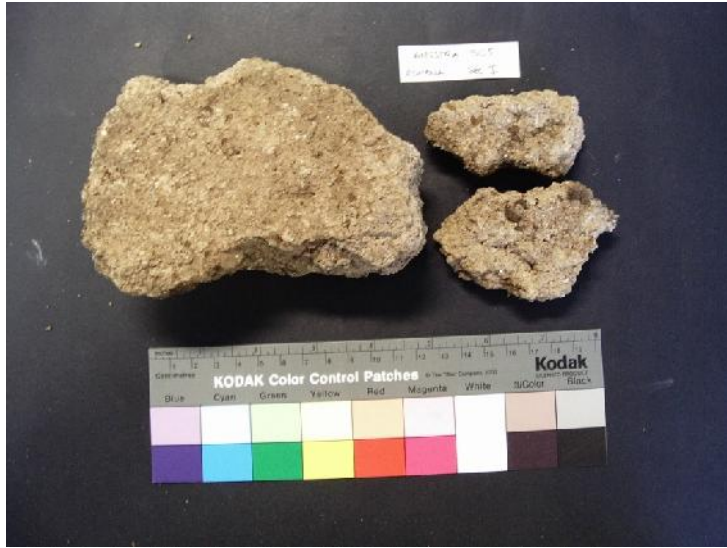
**agregado miúdo** (areias siliciosas, dolomíticas ou calcárias)

**água.**

Podem ser encontrados **outros tipos de aditivos** (como cerâmicas, pozolanas, fibras, etc.) para melhorar as suas características.

**Têm várias funções:**

- Assentar blocos (pedra, tijolos, etc.)
- Impermeabilizar superfícies
- Regularizar paredes, pisos, tetos, etc.
- Dar acabamento às superfícies.



A boa qualidade de uma argamassa pode ser verificada pela análise de algumas propriedades físicas como:

resistência mecânica, impermeabilidade, aderência, constância de volume e durabilidade.

Mas também de algumas propriedades químicas ...

A importância de cada uma dessas propriedades depende da **finalidade da argamassa**.

- **Argamassas de preenchimento ou assentamento**

No interior de paredes, pilastras, arcos e abóbodas unindo blocos de pedra e cerâmica

- **Argamassas de refechamento de juntas**

Na interface externa entre blocos constituintes da alvenaria, de modo a selar o interior dos muros

- **Argamassas de reboco**

Nas camadas exteriores protetoras ou decorativas



## LIGANTES

Os principais materiais utilizados ao longo da história como ligantes foram o **barro**, o **gesso**, a **cal** e o **cimento**.

Estes podem ser divididos em 2 tipos, consoante a sua capacidade de efetuarem a presa debaixo de água.

Os primeiros, que não possuem esta capacidade, são chamados **ligantes aéreos**, entre eles estão o **barro** e a **cal**.



<http://g1.globo.com/VCoG1/foto/0,,39185448,00.jpg>



<http://www.embarro.com/pics/intro-002-ma.jpg>



## LIGANTES

Os outros denominam-se **hidráulicos**  
e são a **cal hidráulica** e o **cimento Portland**



[http://www.secilargamassas.pt/media/noticias/elem\\_media/29.original.jpg](http://www.secilargamassas.pt/media/noticias/elem_media/29.original.jpg)



<http://www.odifercol.pt/fotos/ac.jpg>



<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSsbhkB0731Xv6Kzyewk6lcQGdpZY8zew4T5dwgDUq7rY1p3>



<https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRiHcd8DDYA-DJVM8uok44TUr8QXJz1dyr1UBTHghghfLhITedv3A>

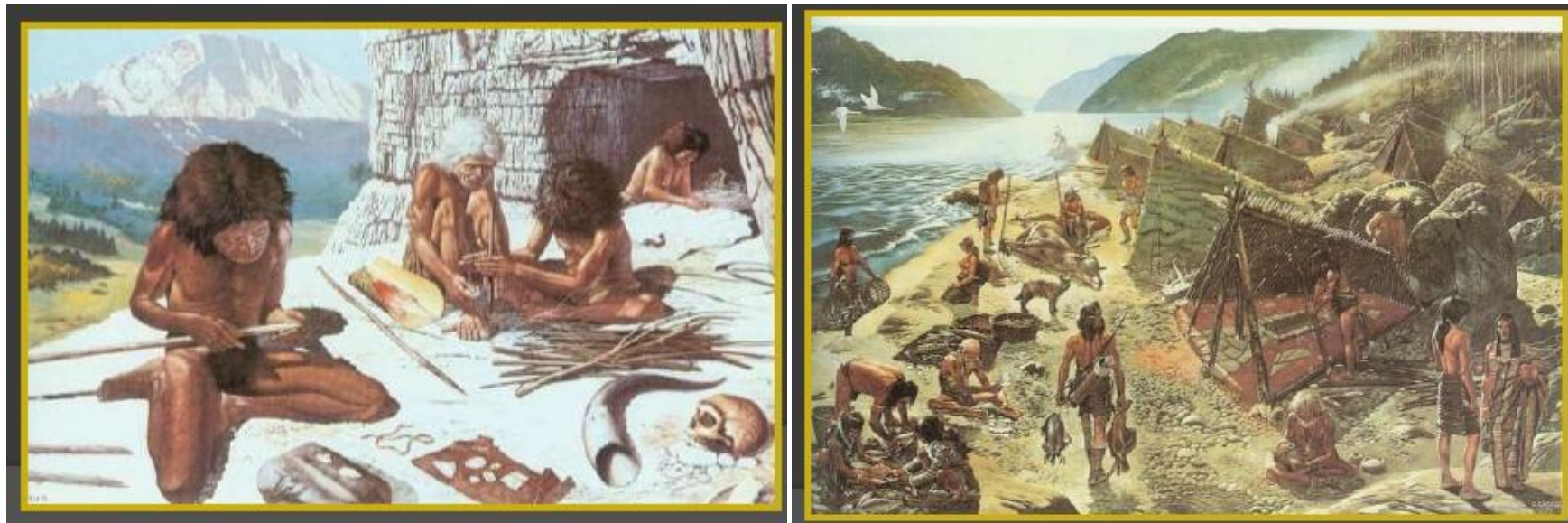




## O papel das argamassas na construção – síntese histórica

Utilização primitiva de materiais argilosos misturados com água na construções de abrigos.

Com a descoberta do fogo os efeitos do calor nas propriedades das argilas e dos calcários permitiriam a descoberta das características aglutinantes destes materiais em contacto com a água.



## O papel das argamassas na construção – síntese histórica

Uso de certas rochas vulcânicas que, adicionadas à argamassa, conferem propriedades hidráulicas.

**Vitrúvio** (séc. I a.C.) e **Plínio** (séc. I d.C.) relatam o emprego de argamassas hidráulicas, nas construções da sua época.



## O papel das argamassas na construção – Síntese histórica

O desconhecimento das causas de hidraulicidade das argamassas perdurou até ao séc. XIX

Louis Vicat (1830) demonstrou existir uma relação entre as características hidráulicas das argamassas e a presença de argila nos calcários que constituam as matérias primas ou a mistura de pozolanas na cal aérea.

A revolução industrial conduziu a um forte desenvolvimento e aperfeiçoamento dos métodos e das técnicas de transformação dos materiais resultando um fabrico corrente de novos materiais de construção, nomeadamente dos ligantes hidráulicos artificiais especialmente do cimento.

**A cal aérea simples ou misturada com pozolanas e o gesso foram os principais ligantes conhecidos e utilizados até ao séc. XIX.**

Quando passou a ser possível produzir industrialmente a cal hidráulica, e principalmente o cimento portland, começou a potenciar-se o seu uso.



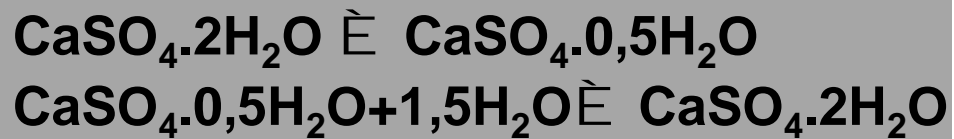
# Tipos de ligantes

- **GESSO**

Material moído em forma de pó, obtido pela calcinação da gipsite, constituído predominantemente por sulfato de cálcio.



[http://www.ehu.es/sem/seminario\\_pdf/SeminSEM9p91-112.pdf](http://www.ehu.es/sem/seminario_pdf/SeminSEM9p91-112.pdf)



Face à sua solubilidade em presença de água o seu uso deverá ser restrito a ambientes secos ou interiores.



# Tipos de ligantes

## Cal aérea

(cal viva) - Pó seco obtido da calcinação de calcários, constituindo-se principalmente de óxido de cálcio ou da associação natural deste com óxido de magnésio



calcário calcítico



calcário dolomítico



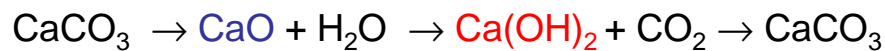
calcário magnesiano



# Tipos de ligantes: Cal aérea

- CAL VIVA – resultante da calcinação de materiais calcários, hidrata-se com facilidade, sendo obrigatória sua extinção prévia para uso em construção
- CAL HIDRATADA - obtida pela hidratação de cal viva, constituída basicamente de hidróxido de cálcio, podendo conter hidróxido e óxido de magnésio.
- CAL CARBONATADA – resultante da reação de carbonatação, i.e., contacto com o CO<sub>2</sub> atmosférico.

cal cálcica

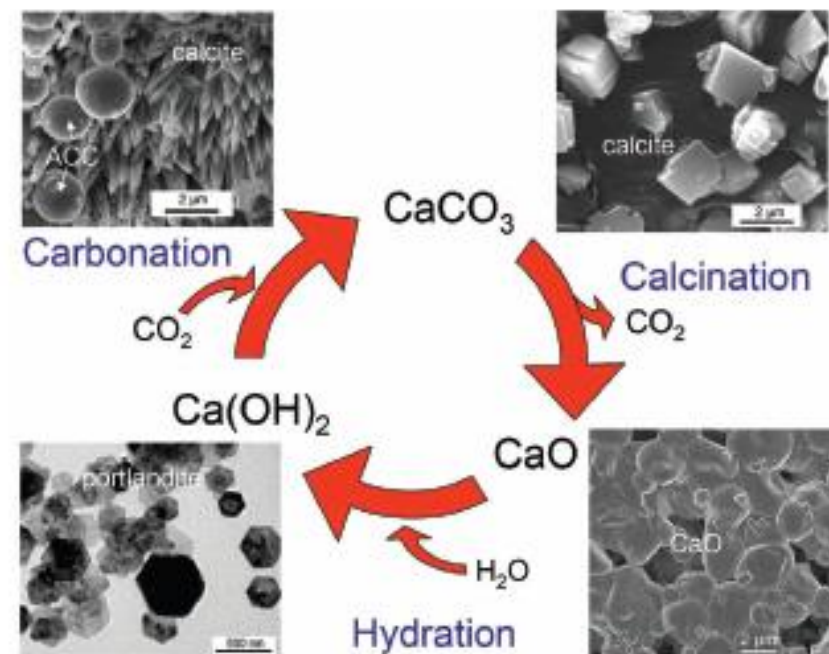
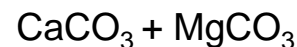
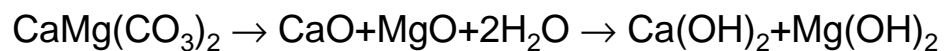


viva

hidratada  
ou apagada

carbonatada

cal dolomítica



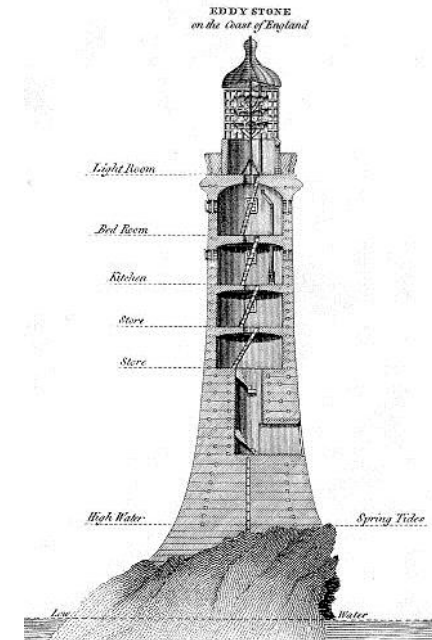


# Tipos de ligantes: hidráulicos

- **CAL HIDRÁULICA (SMEATON 1756)**
  - Obtida pela calcinação de calcário e argila (5-20%),
  - Além da formação de cal viva, há combinação da sílica e alumina com a cal viva, formando-se **silicatos** e **aluminatos** e **hidróxido de cálcio**.



- Endurece em contacto com a água; formação de silicatos e aluminatos de cálcio hidratados (CSH e CAH).



Farol de Eddystone - Smeaton's Tower  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Smeaton%27s\\_Tower](http://en.wikipedia.org/wiki/Smeaton%27s_Tower)



# Tipos de ligantes: hidráulicos

- CIMENTO NATURAL (J. PARKER 1796)
  - Obtido pela calcinação dum calcário impuro contendo argila.
  
- CIMENTO PORTLAND (J. ASPDIN 1824)
  - patenteou a descoberta, batizando-a de cimento **Portland**, numa referência à Portlandstone, tipo de pedra arenosa muito usada em construções na região de Portland, Inglaterra. No pedido de patente constava que o calcário era moído com argila, em meio húmido, até se transformar-se em pó impalpável. A água era evaporada pela exposição ao sol ou por irradiação de calor através de cano com vapor. Os blocos da mistura seca eram calcinados em fornos e depois moídos bem finos.

# Tipos de ligantes: hidráulicos

- CIMENTO PORTLAND

- Cimento artificial obtido do cozimento de uma mistura íntima, em proporções rigorosas, de materiais calcários e materiais argilosos previamente moídos, até fusão parcial - cerca de 1450°C - seguida de fina moagem do **clínquer** obtido e de pequena adição de gesso para regularizar o tempo de endurecimento após a adição da água.





- Constituição do cimento portland

$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	<b>SILICATOS</b>	20 a 65% 10 a 55%
$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	<b>ALUMINATOS</b>	0 a 15% 5 a 15%
<b>Gesso</b>		<b>&lt; 5 %</b>

Desde finais do séc. XIX os princípios gerais da fabricação do cimento portland não têm sofrido modificações. No entanto, tem sofrido uma evolução técnica e científica muito importante.

Esta evolução aumentou os conhecimentos científicos básicos e permitiu descobrir uma gama de ligantes derivados do portland (portland composto, pozolânicos, alto forno), o que, por um lado, supriu certas insuficiências do cimento portland e por outro satisfaz melhor outro tipo de exigências, embora criando outros problemas.

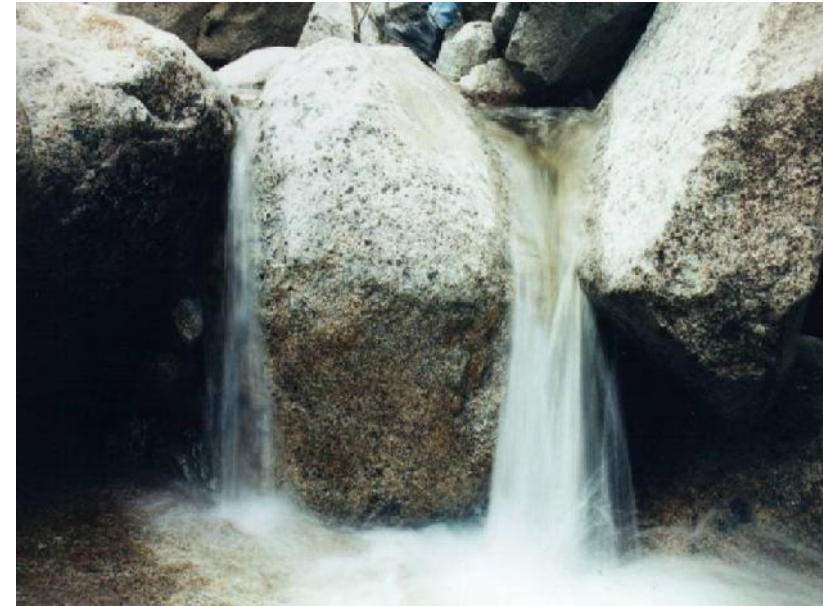
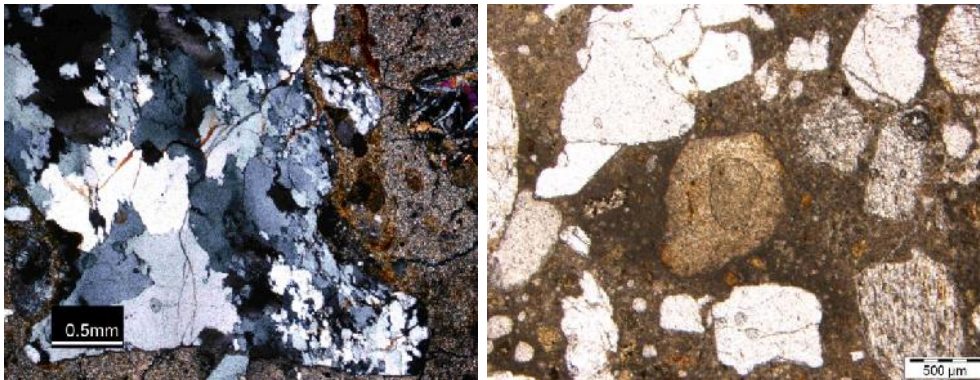
# Os constituintes das argamassas

## AGREGADOS

Os agregados são normalmente **substâncias pouco porosas** como **areia, rochas, conchas** e **gravilha** ou **substâncias porosas e físico-quimicamente ativas** como **tijolo** e **cerâmica**.

Funcionam como um enchimento, reduzindo a quantidade de ligante necessário e a contração de volume durante a secagem.

No que diz respeito às argamassas antigas, os agregados mais utilizados eram a areia de pedreiras e a areia dos rios peneirada.



## ÁGUA

Águas naturais potáveis, como águas de poços ou rios, com pequenas variações composicionais podem ser utilizadas sem problemas, tendo pouca influência no produto final.

As águas ricas em sais, como águas minerais e água do mar, não devem ser utilizadas.

# Os constituintes das argamassas

## ADITIVOS

São adicionados às argamassas para alterar ou conferir uma característica não existente e podem ser de diferentes naturezas.

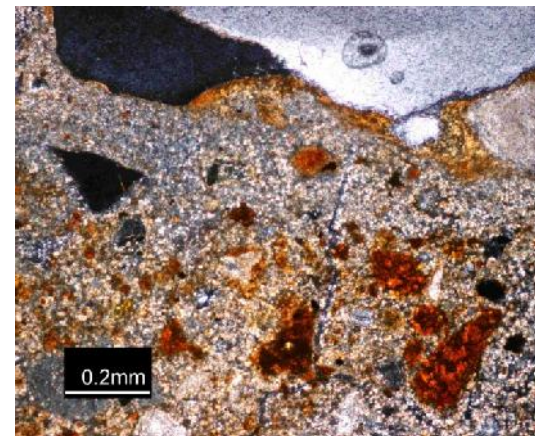
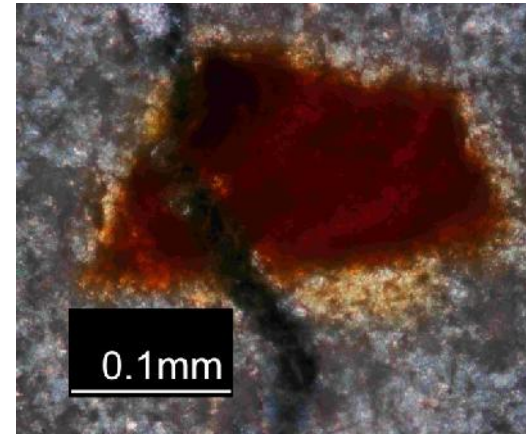
Os **aditivos de natureza orgânica** podem ir desde palha ou cabelo, a ovos, queijo, sumos de frutas, sangue, cerveja, xaropes, cera de abelhas, óleos e álcoois.

Os **aditivos de natureza mineral** são principalmente adicionados às **argamassas aéreas** para lhes conferirem **características hidráulicas** e são denominados também de **pozolânicos**.

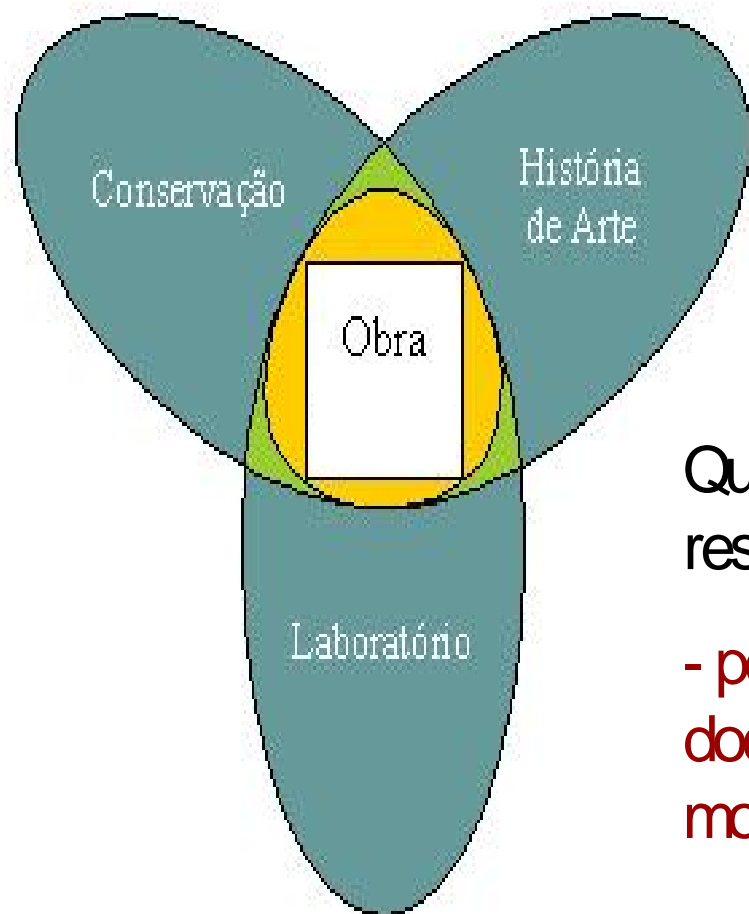
Estes podem ser de duas origens, naturais e artificiais:

Os **naturais** são de origem vulcânica, sejam cinzas ou rochas.

Os **artificiais** são essencialmente cerâmicas moídas ou partidas, ou tijolos e outros produtos minerais calcinados







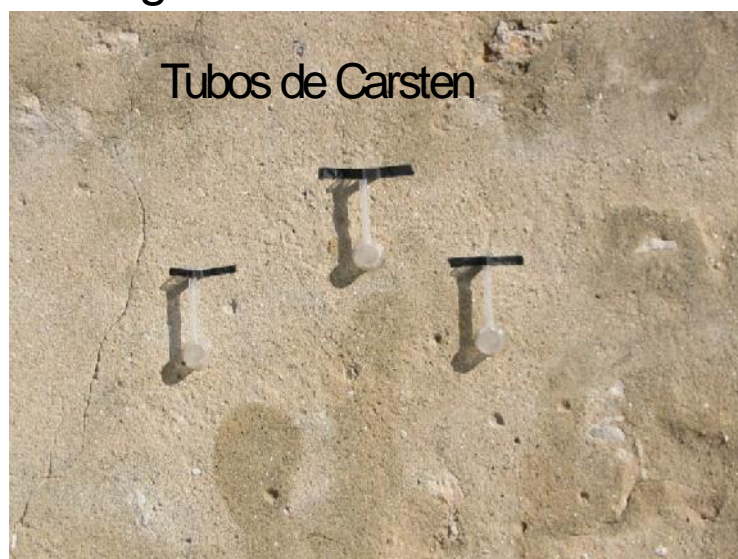
Qualquer intervenção de conservação / restauro deve ser suportada:

- por um aprofundado conhecimento documental histórico e artístico do monumento.
- por um conhecimento físico e químico dos materiais que o compõem e do seu estado de conservação.

## Estado de conservação

Usualmente as argamassas antigas que chegaram aos nossos dias encontram-se em boas condições – boa coesão e forte adesão ao substrato e entre camadas.

Os ensaios in-situ permitem nomeadamente avaliar da resistência e impermeabilidade das argamassas.





# Caracterização de argamassas

## 1 - Ensaaios físicos e mecânicos

- densidade e porosidade total
- porosimetria de mercúrio
- absorção de água por capilaridade
- resistência à compressão/tração
- ...



# Caracterização de argamassas

## 2 – Ensaio químicos, mineralógicos e microestruturais



Análise Química



Difração de Raios X



Análise Térmica



Microscopia Eletrônica e EDS



Microscopia Ótica





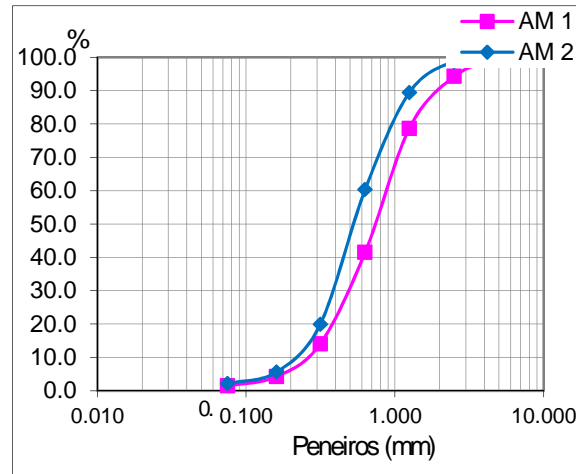
# Análise Química

## Fração Solúvel

- ☐ Sais solúveis ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )
- ☐ Análise elementar  
(Si, Al, Fe, Na, K, Ca, Mg)

## Fração insolúvel

- ☐ Tipo, cor e granulometria dos agregados



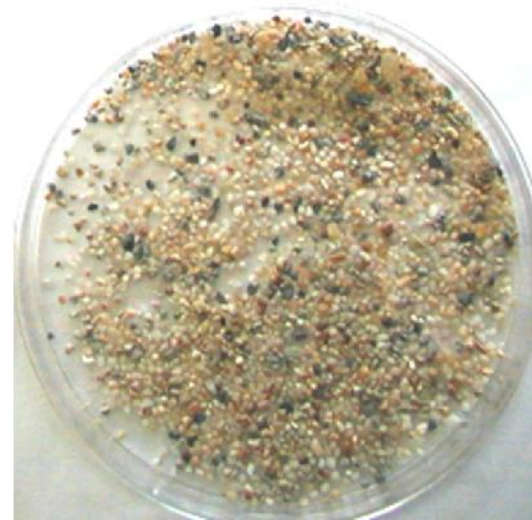
Quartzo rosa e verde



Quartzo com mica



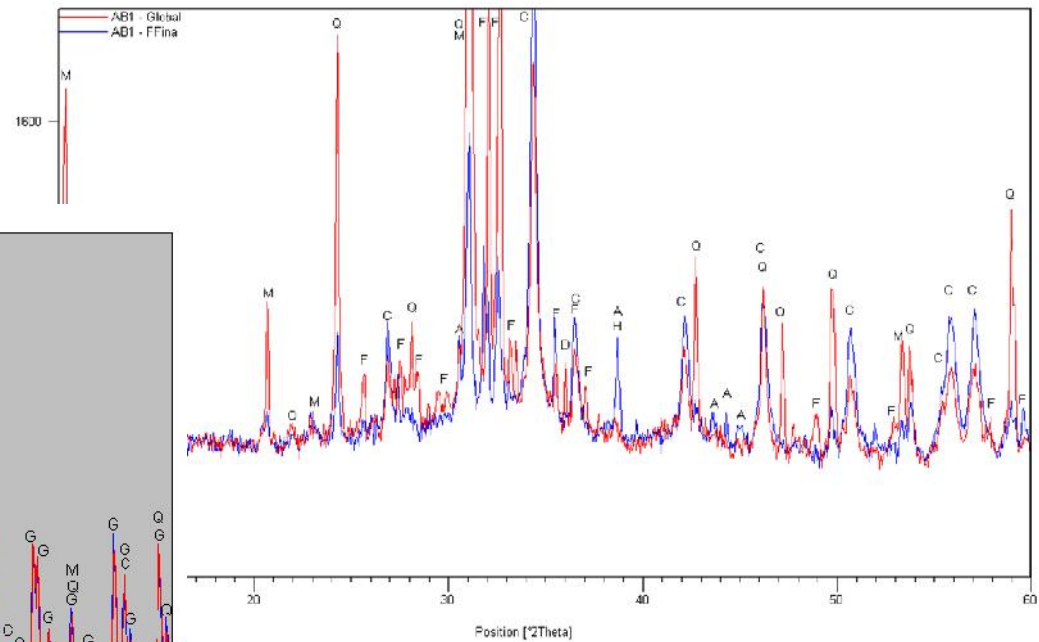
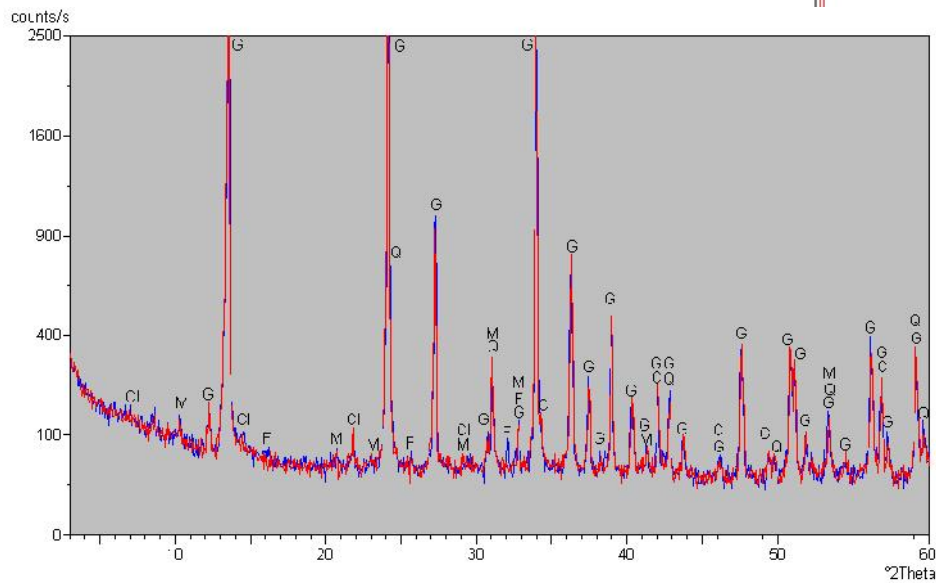
Fragmentos cerâmicos



# Difração de raios X



Composição mineralógica das fases cristalinas

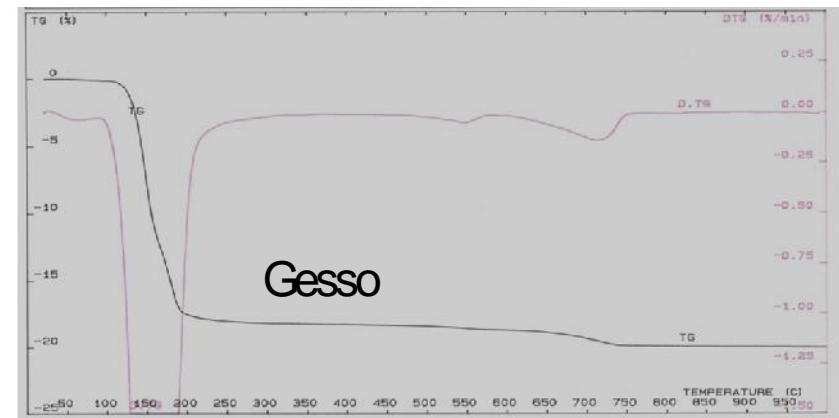
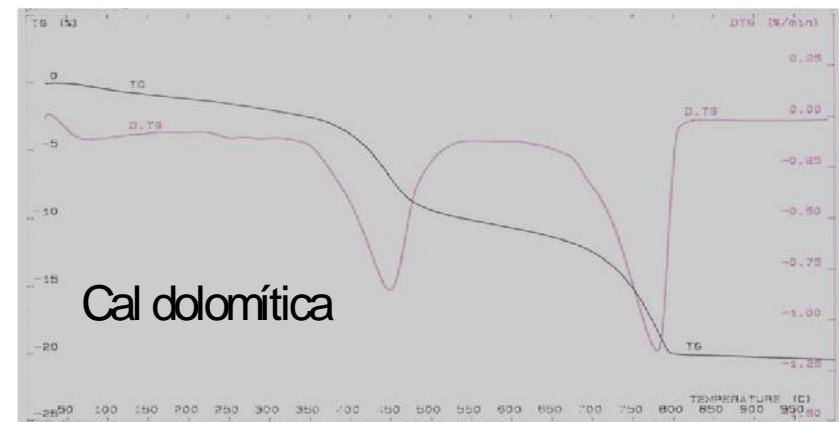
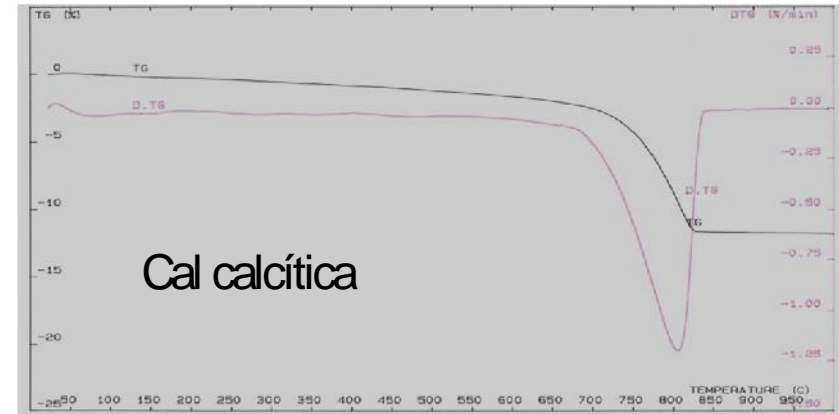


# ATG / ATD



Tipo e teor de ligante

Combinada com a análise química permite a determinação do:  
**traço ponderal de argamassas**





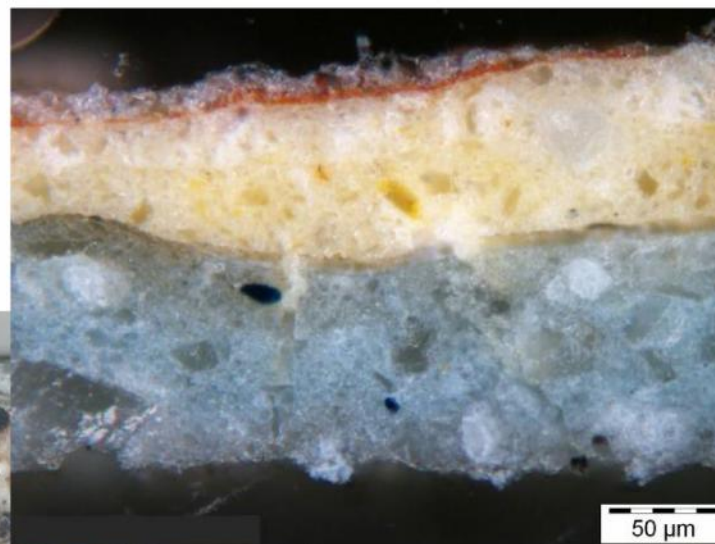
# Microscopia ótica

## *SUPERFÍCIES POLIDAS*

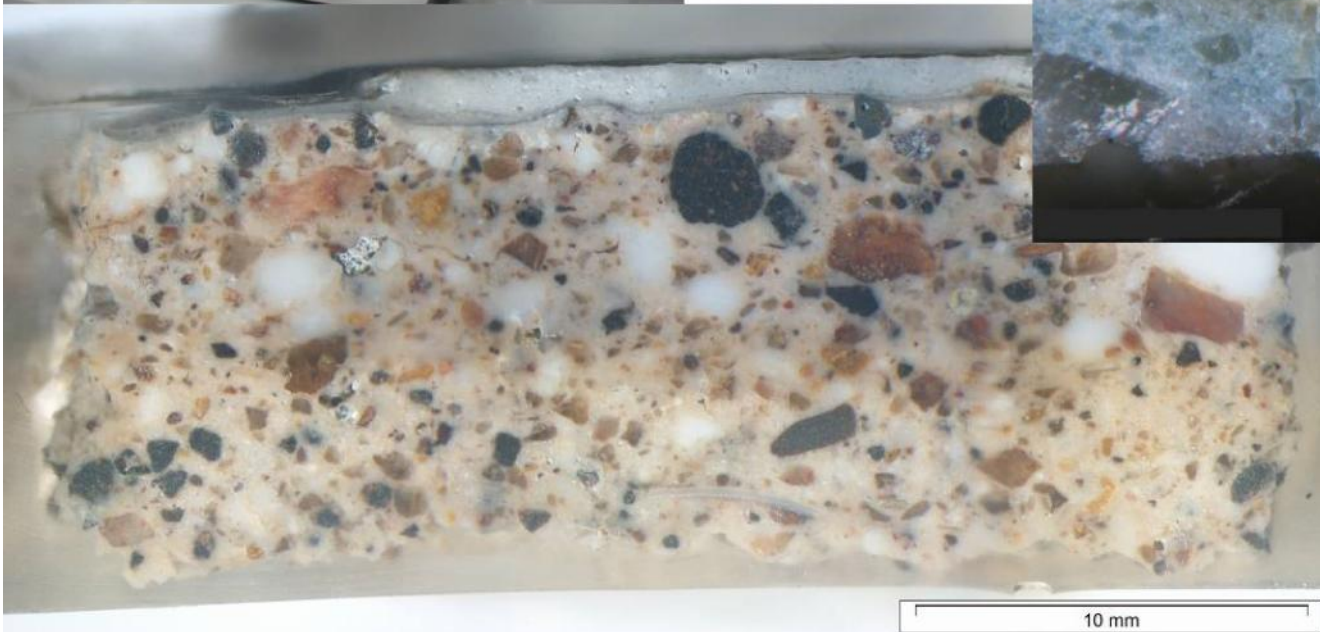


Tipo, cor e morfologia de cargas

Interrelações espaciais dos diferentes constituintes



Estratigrafia de revestimentos





# Microscopia ótica

## *SUPERFÍCIES POLIDAS*

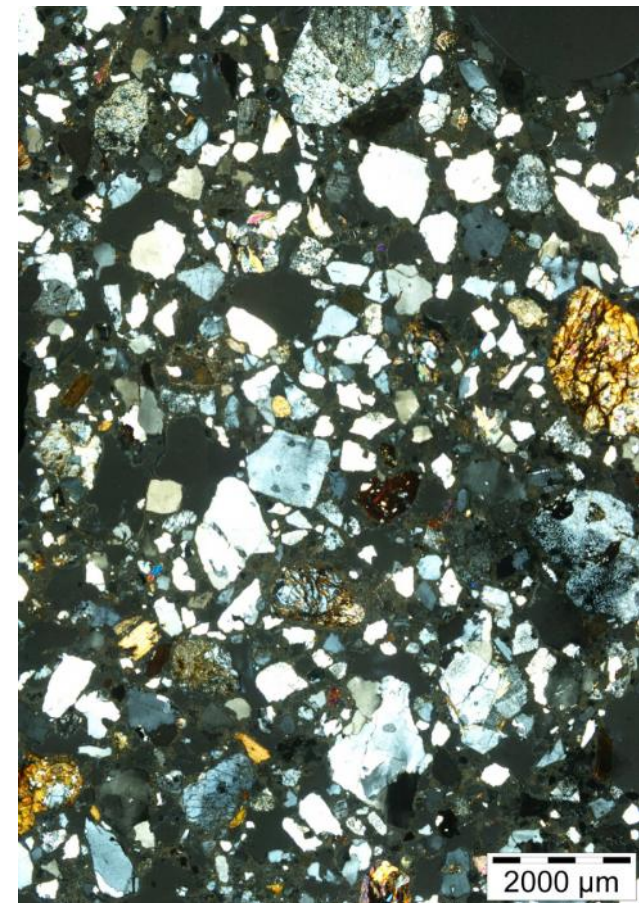
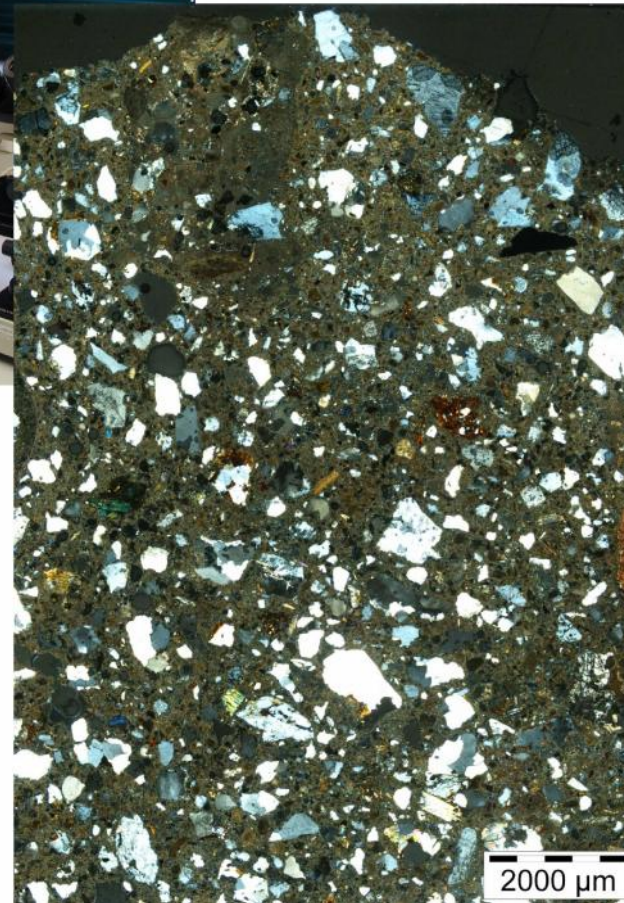
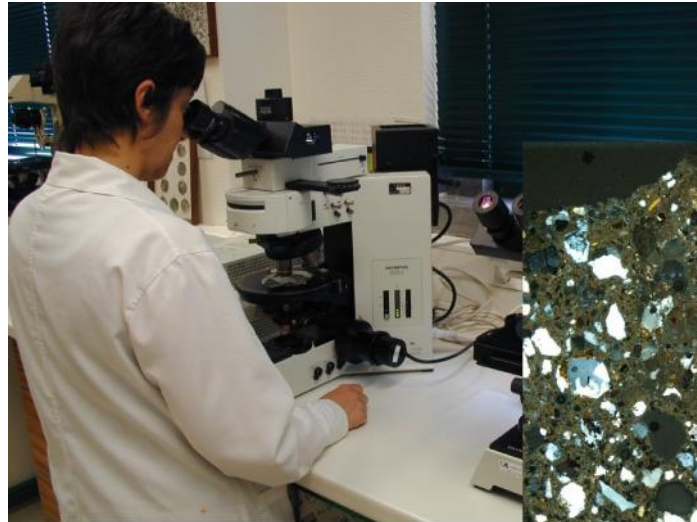
Modo de aplicação, e acabamento das superfícies ...



# Microscopia ótica

## PETROGRAFIA

Tipo, morfologia e origem dos agregados  
Inter-relações espaciais dos constituintes

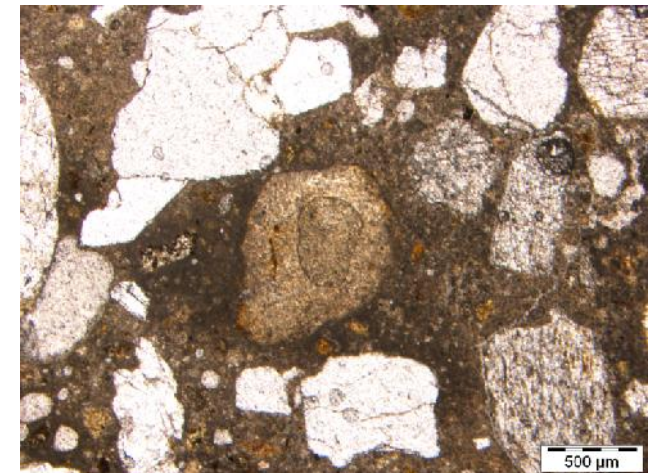
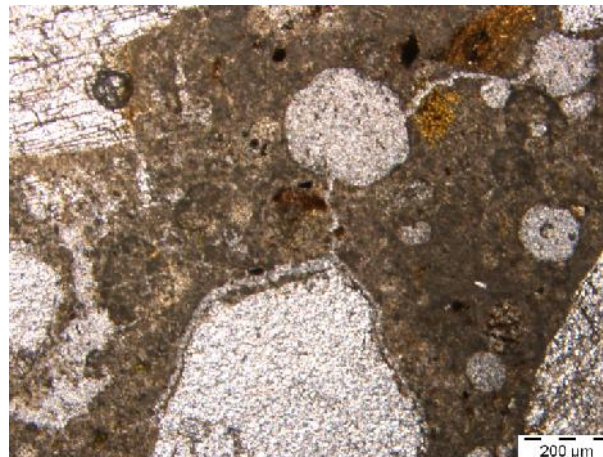
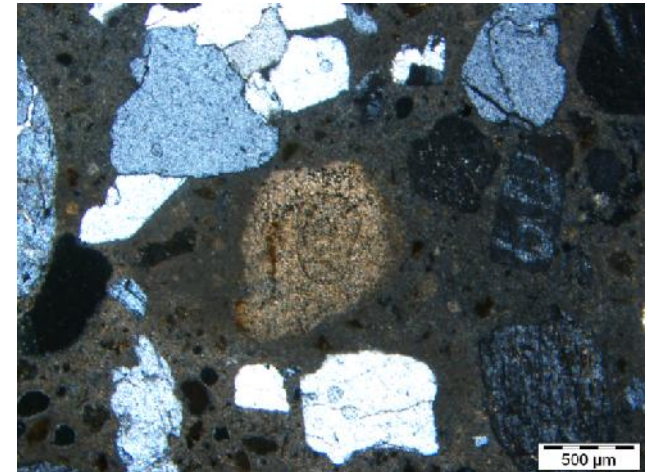
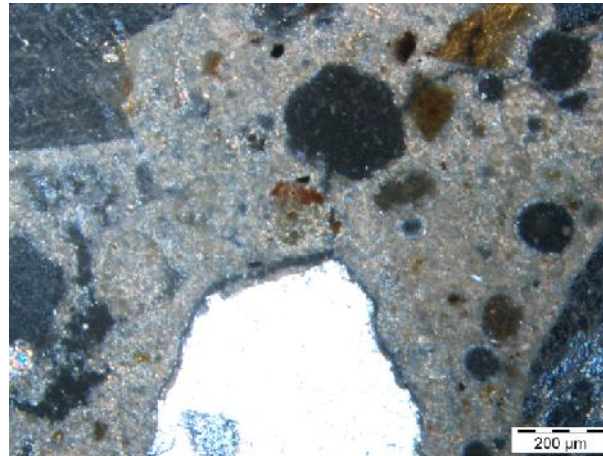




# Microscopia ótica

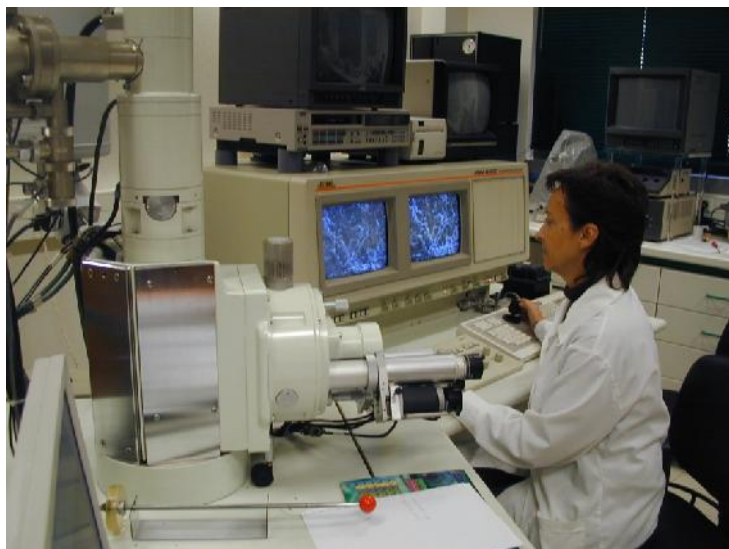
## PETROGRAFIA

Reações na interface agregado / ligante

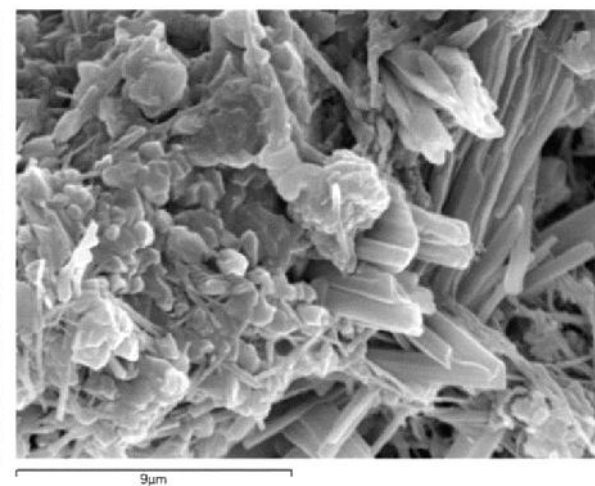
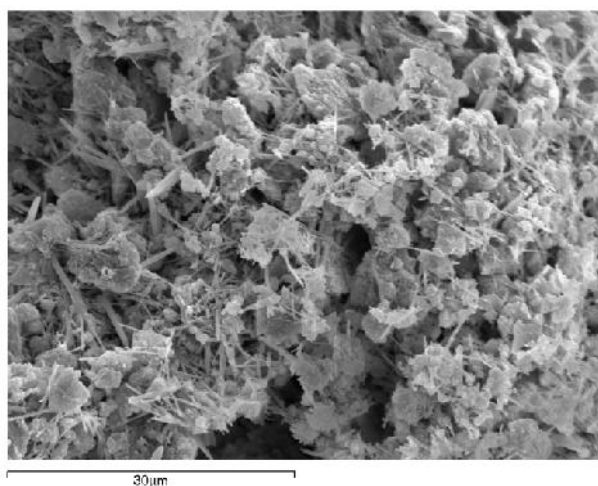
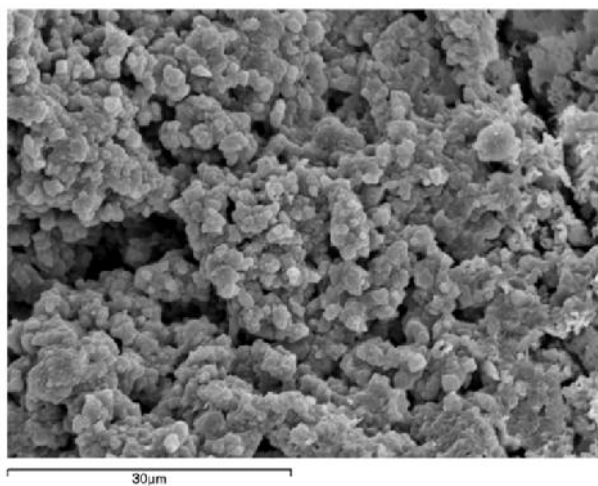
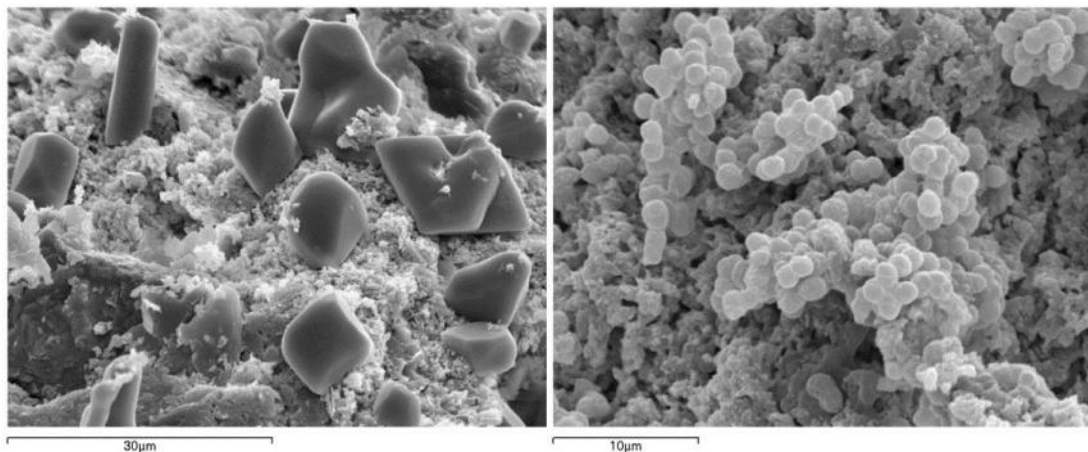




# MEV / EDS



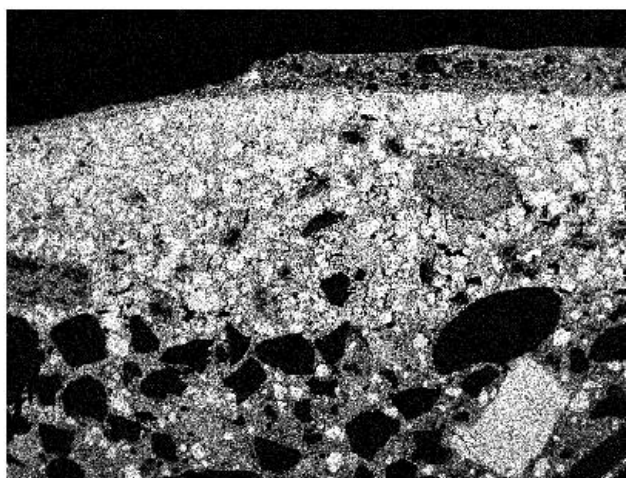
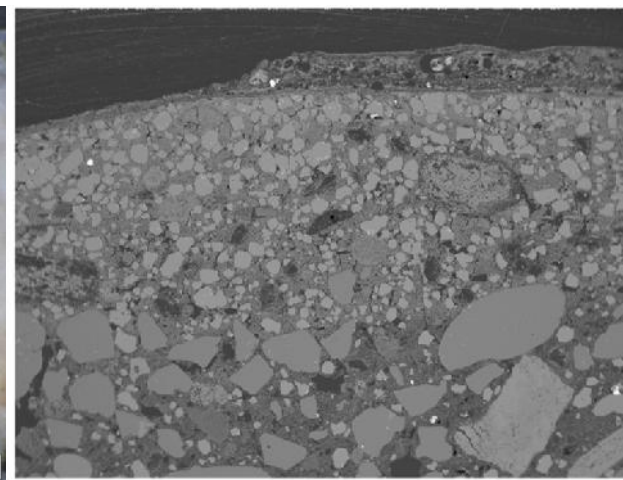
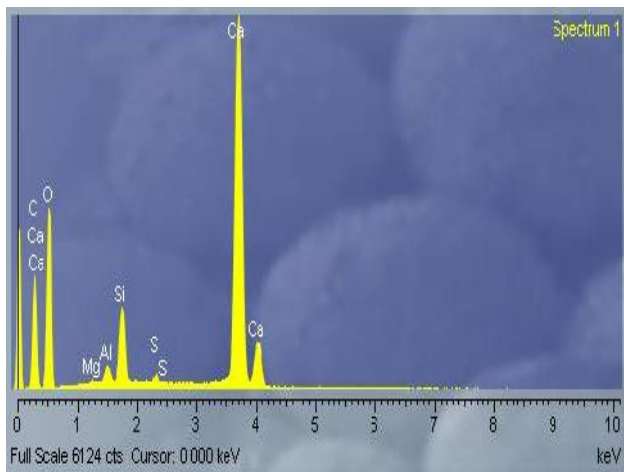
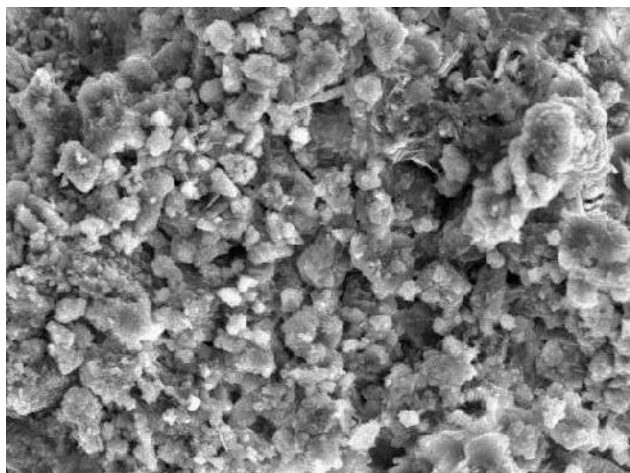
Morfologia dos constituintes  
Produtos de neoformação e/ou de alteração



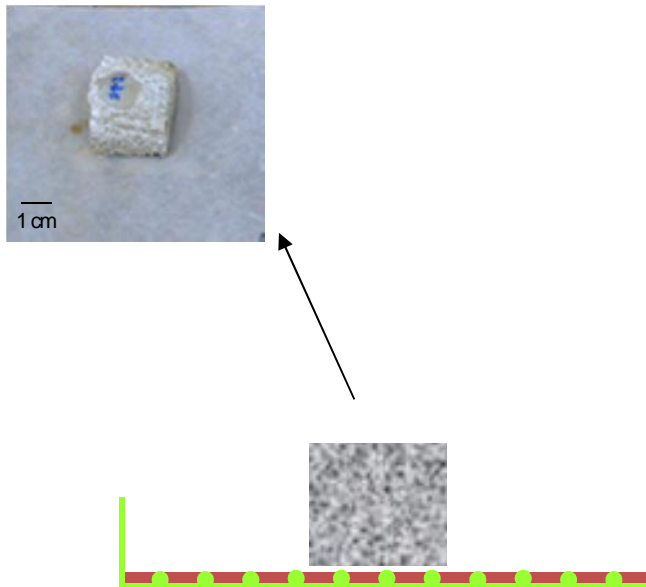


# MEV / EDS

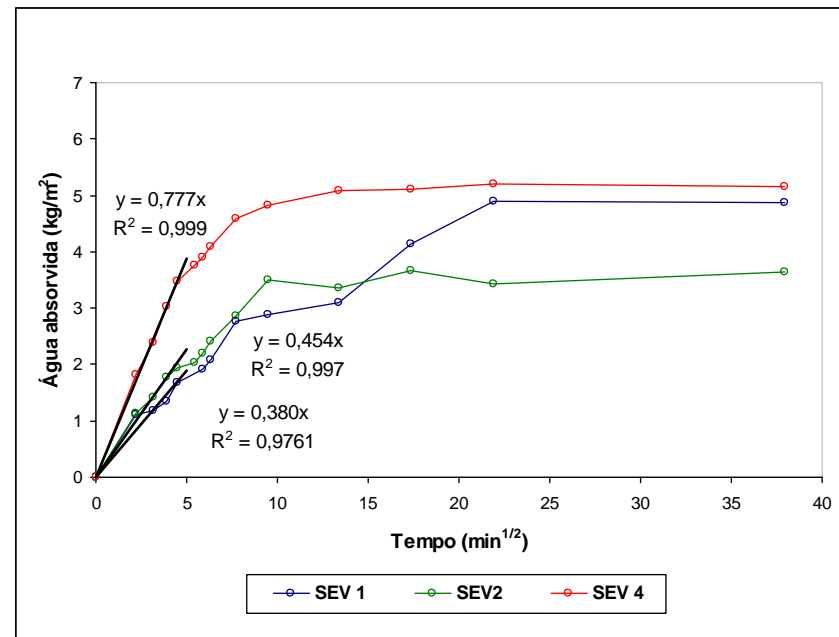
Análise elementar / composição / constituintes e produtos de neoformação e/ou de alteração



# Absorção de ÁGUA



## Coefficientes de absorção capilar



## Resistência à compressão



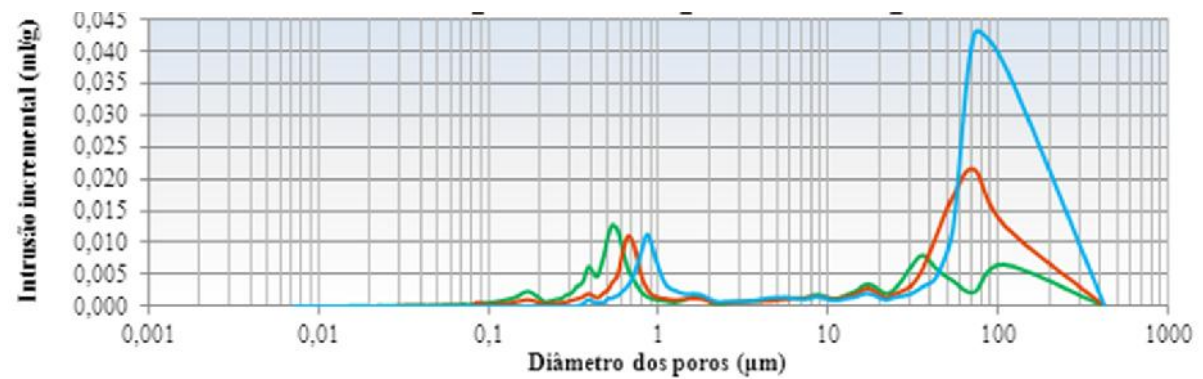
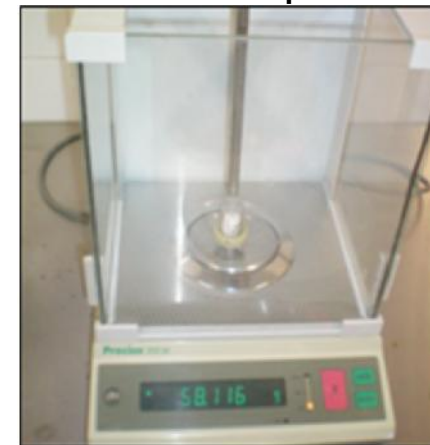
Resistência é correlacionada com a composição química e estrutura porosa



# Porosimetria de mercúrio



Distribuição do tamanho de poros





## Caracterização de argamassas

- metodologia “pesada” mas rica de ensinamentos
- pessoal especializado
- panóplia de meios de investigação
- complementaridade de métodos
- confrontação do conjunto de informações

fiabilidade da análise final

