

Monumentos Pátrios, azulejos e galos de Barcelos: as muitas faces do património tangível

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

Teresa Diaz Gonçalves



“Observei (...) que o sal exudava do solo em tal quantidade que até danificava as pirâmides”

Heródoto (485 a.C.– 420 a.C.), Histórias, Livro III

Monumentos Pátrios, azulejos e galos de Barcelos: as muitas faces do património tangível

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

Teresa Diaz Gonçalves



Projeto de investigação (ref. PTDC/ECM/100553/2008) DRYMASS - Secagem de materiais de construção porosos eventualmente contaminados com sais solúveis

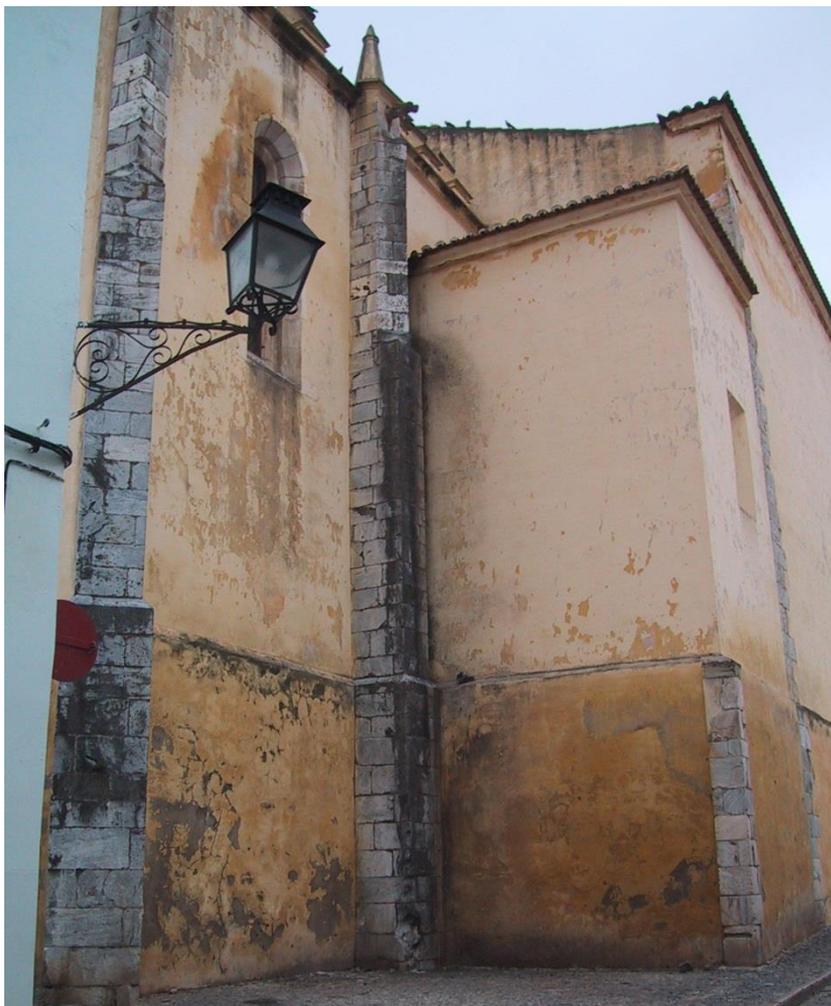


LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

FCT

Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CIÊNCIA

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



- degradação estética

Igreja de São João Baptista
Moura, Portugal – Novembro 2002

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



- degradação estética
- problemas de salubridade

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



- degradação estética
- problemas de salubridade
- reparações recorrentes e dispendiosas

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



Palácio do Raio,
Braga
– Outono 2009
(fotografia de JMM)



Mosteiro de Santa Cruz
Coimbra, Portugal – Junho 2002

- degradação estética
- problemas de salubridade
- reparações recorrentes e dispendiosas
- perda de material histórico

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

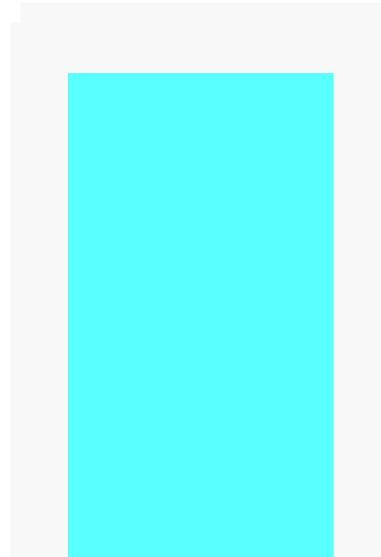


Moinho de maré dos Paulistas,
Corroios, Portugal – Novembro 2004

- degradação estética
- problemas de salubridade
- reparações recorrentes e dispendiosas
- perda de material histórico
- danos estruturais

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

Água



A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

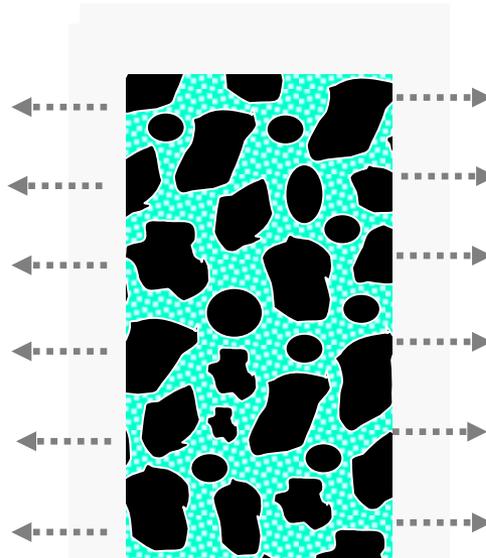
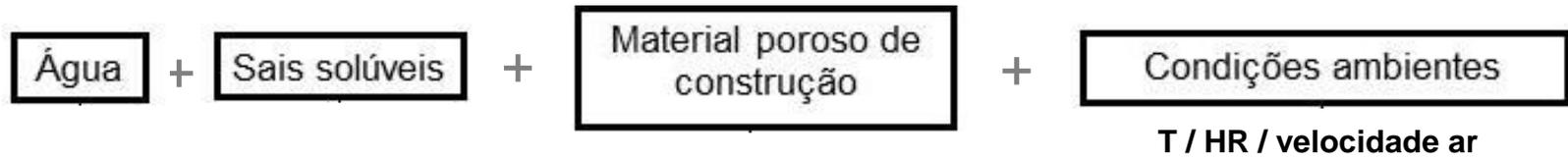
Água + Sais solúveis



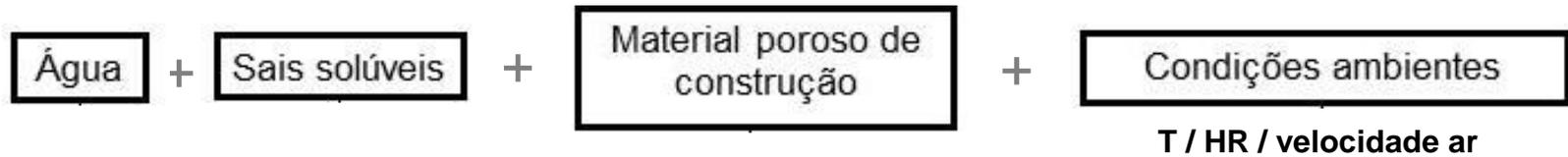
A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



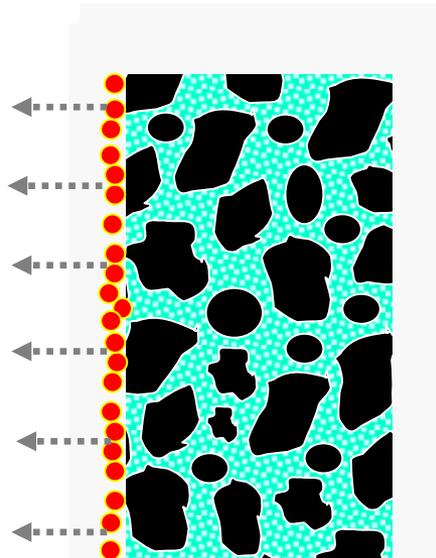
A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



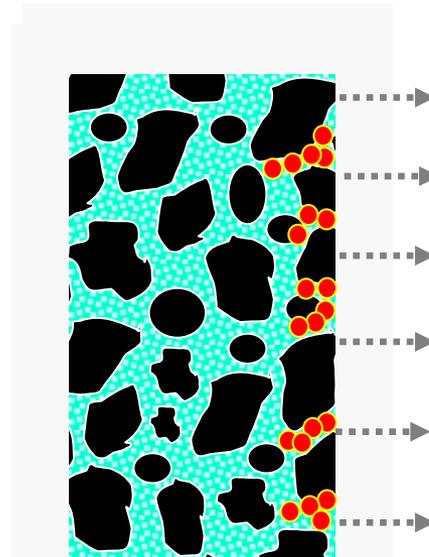
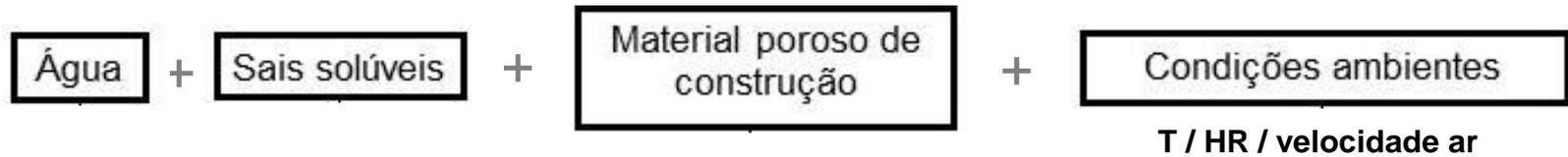
A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



eflorescências

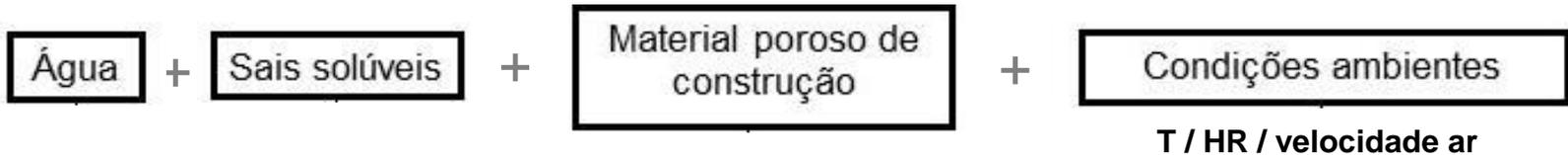


A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

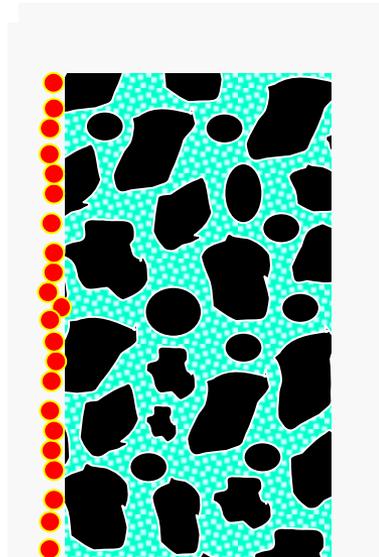


subflorescências

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

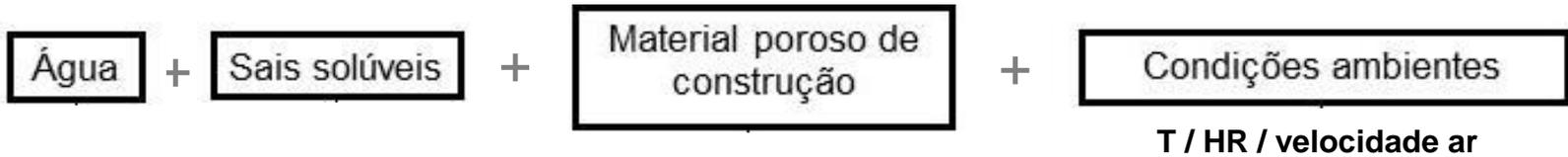


eflorescências



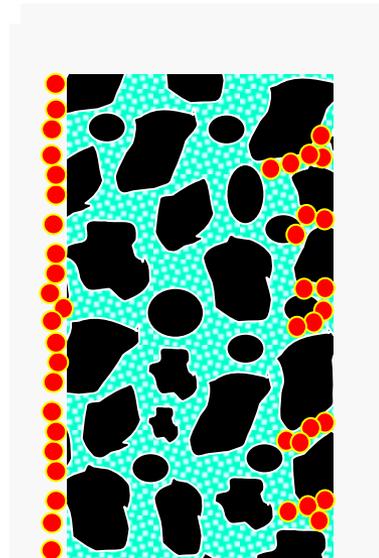
- degradação estética
- problemas de salubridade
- reparações recorrentes e dispendiosas

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



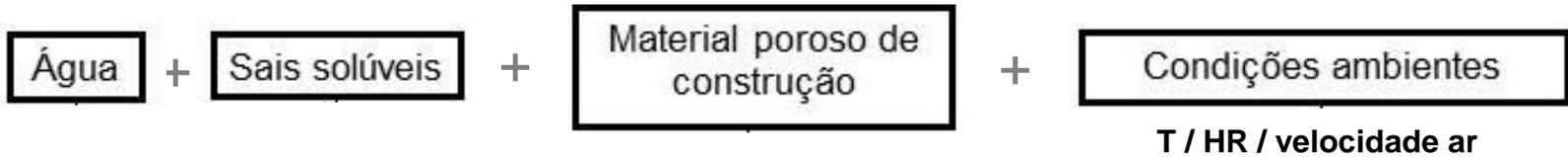
eflorescências

subflorescências



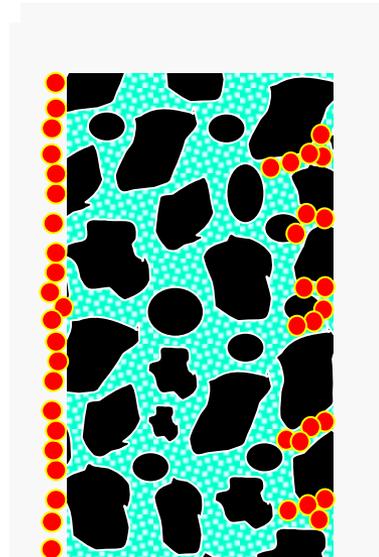
- degradação estética
- problemas de salubridade
- reparações recorrentes e dispendiosas

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



eflorescências

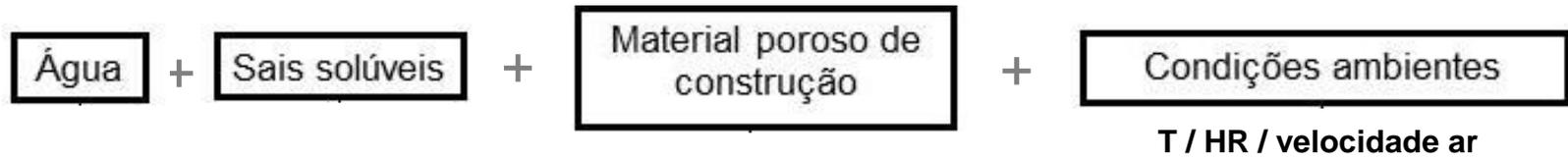
subflorescências



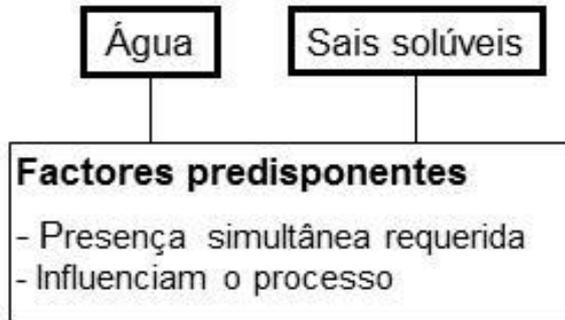
- degradação estética
- problemas de salubridade
- reparações recorrentes e dispendiosas

- perda de material histórico
- danos estruturais

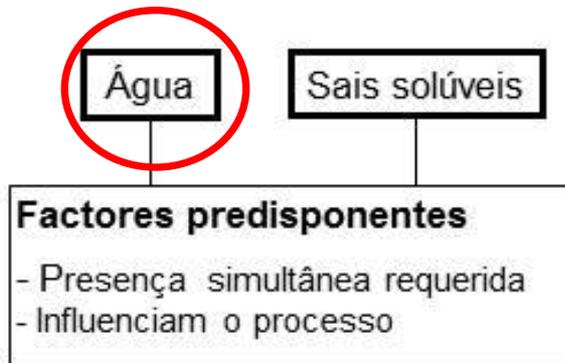
A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



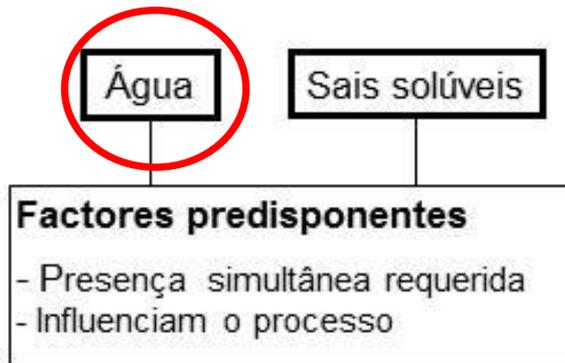
A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



- Humidade de construção
- Ascensão capilar
- Condensação
- Higroscopicidade
- Infiltrações
- Causas acidentais
(rotura tubagens, etc.)

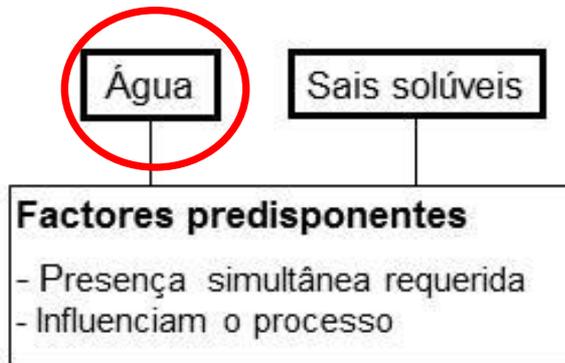


Moinho de maré de Alhos Vedros – Janeiro 2004



Claustro do Convento de Sta Clara-a-Nova,
Coimbra – Janeiro 2004

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



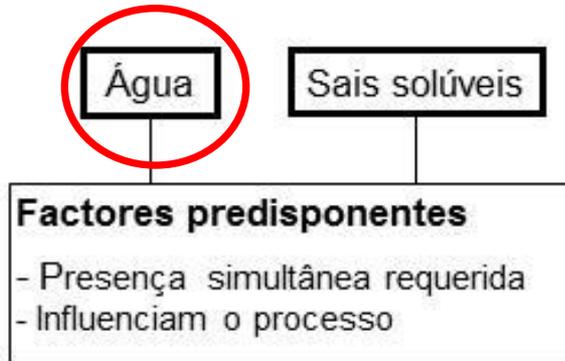
- Humidade de construção
- Ascensão capilar
- Condensação
- Higroscopicidade
- Infiltrações
- Causas acidentais
(rotura tubagens, etc.)



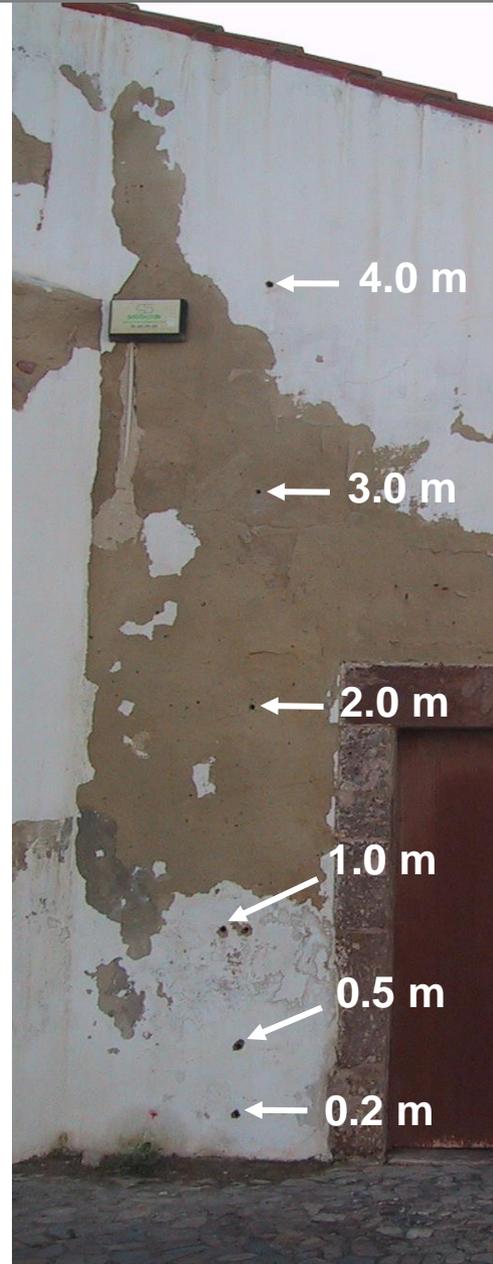
Para determinar a origem da humidade:

- inspeções ao local
- informações dadas pelos utentes
- determinações experimentais sobre amostras colhidas no local

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



- Humidade de construção
- Ascensão capilar
- Condensação
- Higroscopicidade
- Infiltrações
- Causas acidentais (rotura tubagens, etc.)



colheita de amostras em pó por perfuração

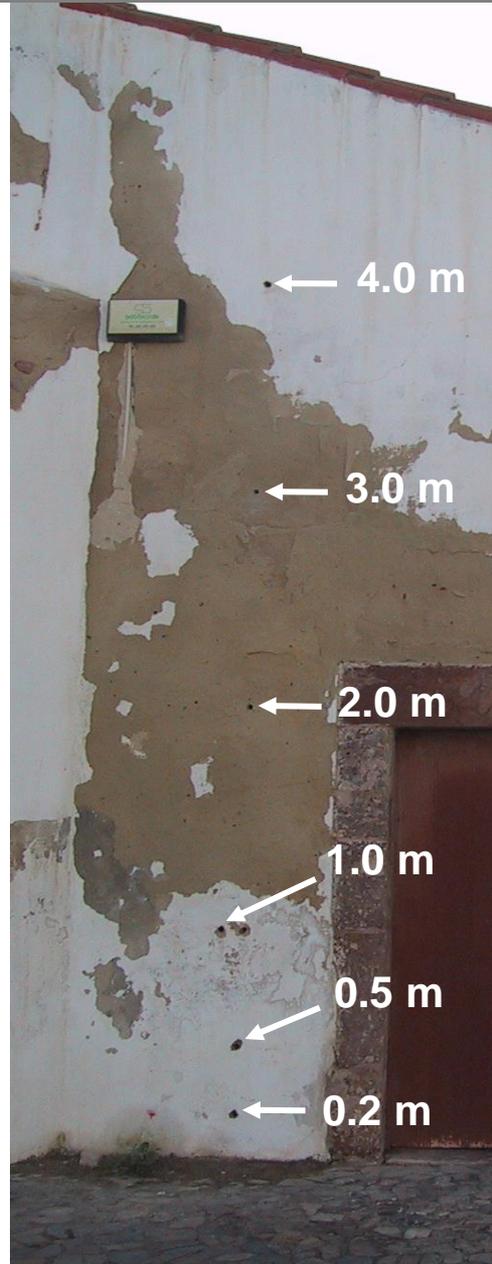
A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



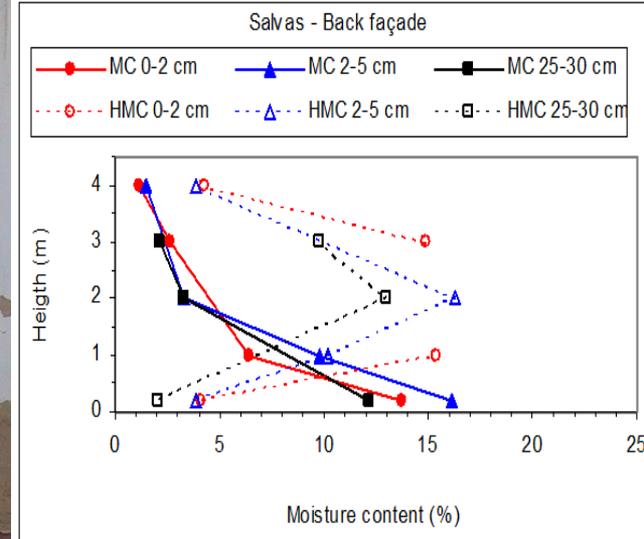
Factores predisponentes

- Presença simultânea requerida
- Influenciam o processo

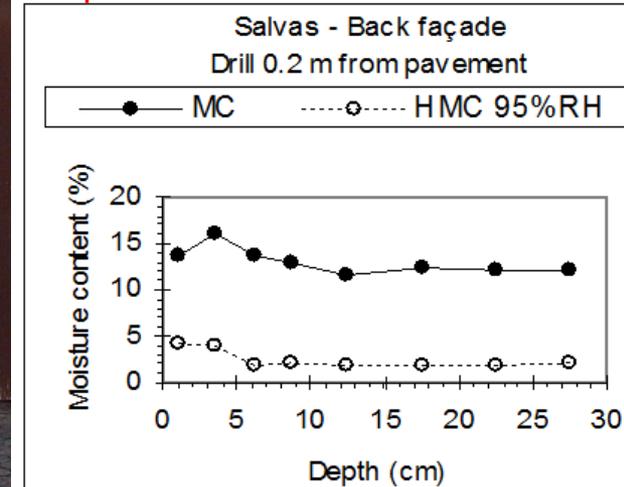
- Humidade de construção
- Ascensão capilar
- Condensação
- Higroscopicidade
- Infiltrações
- Causas acidentais (rotura tubagens, etc.)



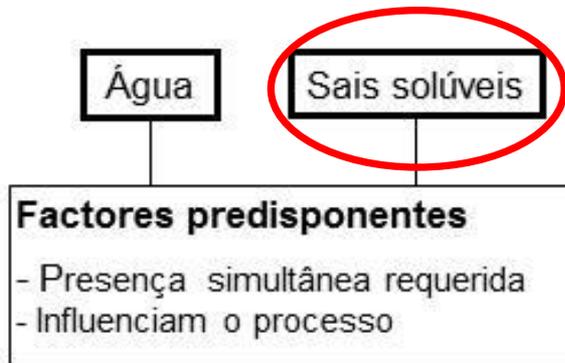
Perfis de distribuição do teor de água em altura:



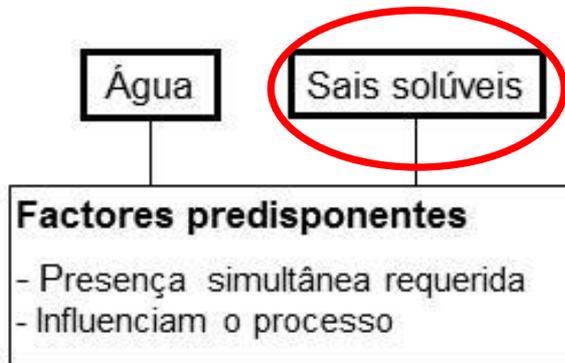
em profundidade:



A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



Cloreto de sódio (NaCl)

- água do mar (subterrânea, nevoeiro, spray)
- bens salgados
- solos contaminados com resíduos domésticos

Nitratos (NO₃)

- solos tratados com fertilizantes orgânicos
- tecidos e excrementos de origem animal
- atividade microbológica

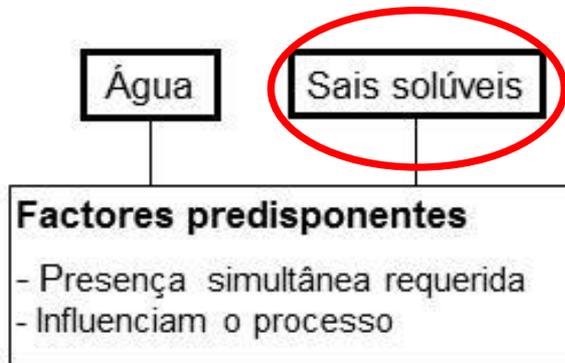
Carbonatos (CO₃)

- materiais com alto teor de álcalis (ex: cimento)

Sulfatos (SO₄)

- materiais cerâmicos
- poluição do ar
- gesso (ex: estuques)

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



O tipo de sal é o melhor indicador da sua origem

Cloreto de sódio (NaCl)

- água do mar (subterrânea, nevoeiro, spray)
- bens salgados
- solos contaminados com resíduos domésticos

Nitratos (NO₃)

- solos tratados com fertilizantes orgânicos
- tecidos e excrementos de origem animal
- atividade microbológica

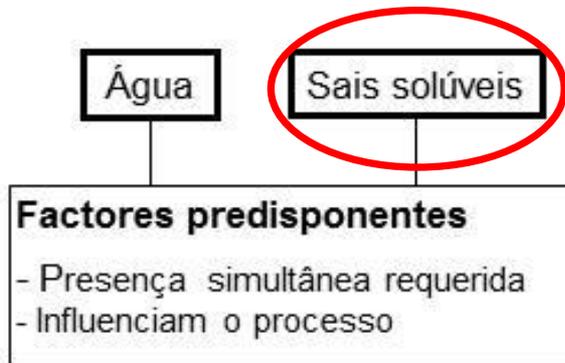
Carbonatos (CO₃)

- materiais com alto teor de álcalis (ex: cimento)

Sulfatos (SO₄)

- materiais cerâmicos
- poluição do ar
- gesso (ex: estuques)

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



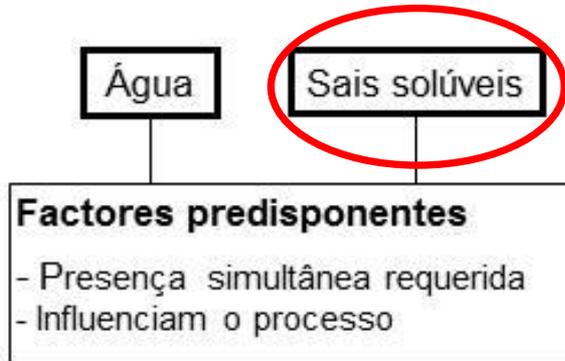
O tipo de sal é o melhor indicador da sua origem



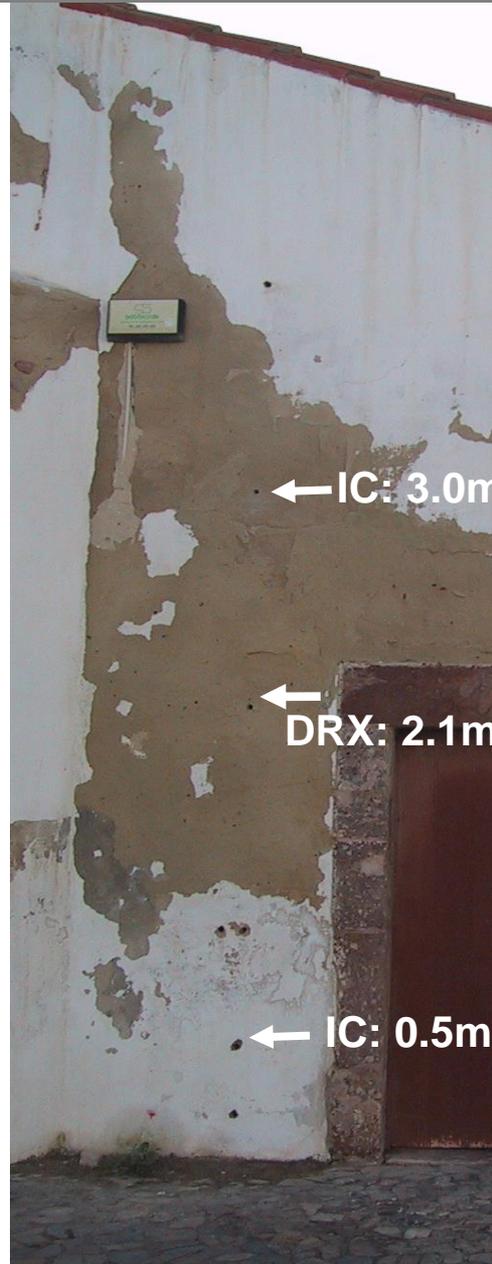
DRX/EDS sobre a fração fina

Halite (NaCl)	+ / ++
Calcite, CaCO ₃	+++
Quartz, SiO ₂	++

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



O tipo de sal é o melhor indicador da sua origem



DRX/EDS sobre a fração fina

Halite (NaCl)	+ / ++
Calcite, CaCO ₃	+++
Quartz, SiO ₂	++

Cromatografia iónica
(teor ponderal - %)

Distância ao solo	3m	0.5m
Na ⁺	0.33	0.05
K ⁺	0.07	0.04
Cl ⁻	0.6	0.16
NO ₃ ⁻	0.33	0.04
SO ₄ ²⁻	0.08	0.09

Teor (classificação WTA):
baixo, médio, alto

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

caraterísticas físicas

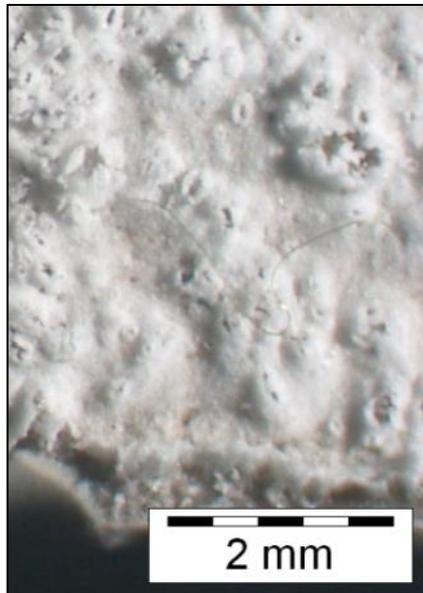
- Influenciam fluxos líquido e de evaporação (**porosidade, porometria**)
- Determinam a suscetibilidade do material (**resistência mecânica**)



A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

caraterísticas físicas

- Influenciam fluxos líquido e de evaporação (**porosidade, porometria**)
- Determinam a suscetibilidade do material (**resistência mecânica**)



Eflorescências de NaCl em calcário com inclusões pouco porosas



outros fatores macroscópicos/construtivos

- estrutura mineralógica

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

caraterísticas físicas

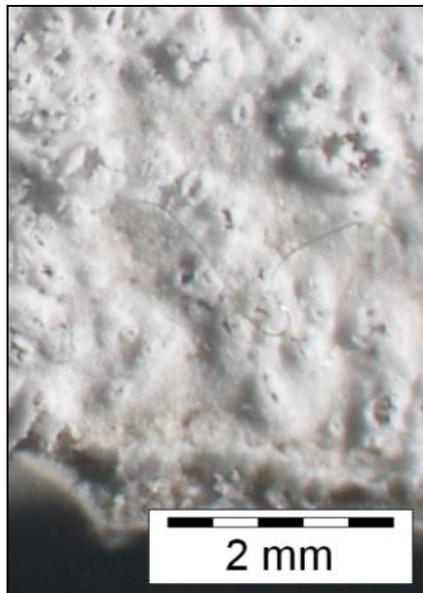
- Influenciam fluxos líquido e de evaporação (**porosidade, porometria**)
- Determinam a suscetibilidade do material (**resistência mecânica**)



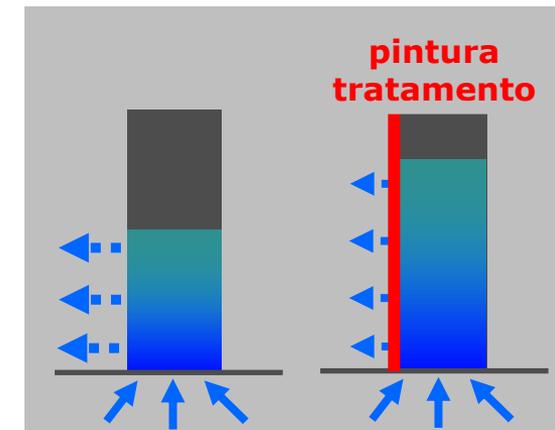
outros fatores

macroscópicos/construtivos

- estrutura mineralógica
- pintura
- tratamentos (hidrófugos, etc.)



Eflorescências de NaCl em calcário com inclusões pouco porosas



Aumento da altura de ascensão capilar devido à utilização de camada pouco permeável ao vapor

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

caraterísticas físicas

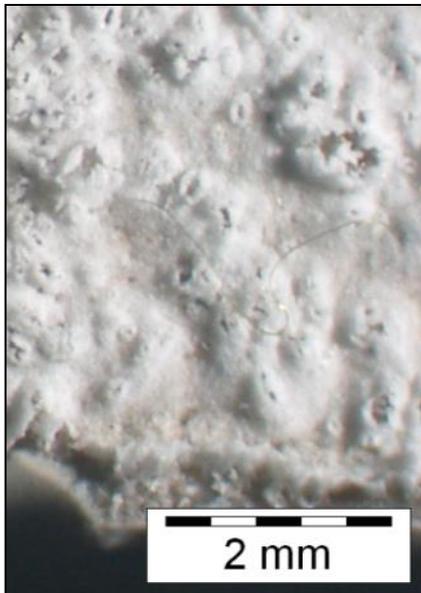
- Influenciam fluxos líquido e de evaporação (**porosidade, porometria**)
- Determinam a suscetibilidade do material (**resistência mecânica**)



outros fatores

macroscópicos/construtivos

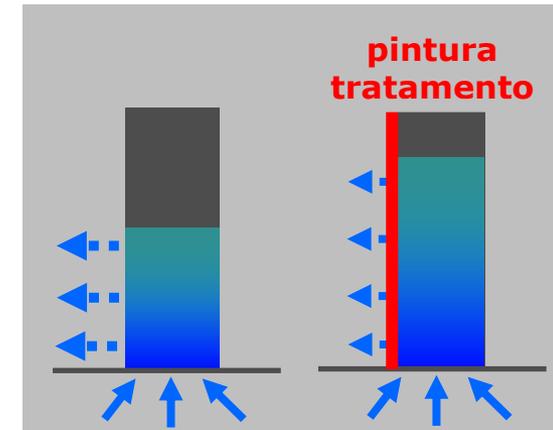
- estrutura mineralógica
- pintura
- tratamentos (hidrófugos, etc.)
- fissuração



Eflorescências de NaCl em calcário com inclusões pouco porosas

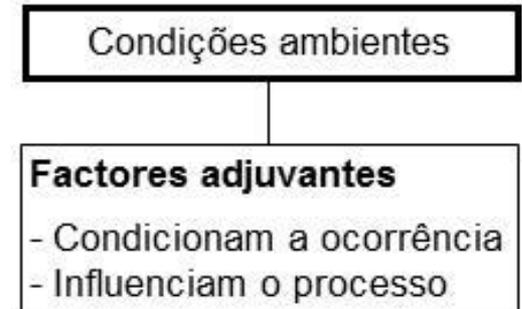


Igreja das Salvas, Sines (2004): a degradação inicia-se nas fissuras



Aumento da altura de ascensão capilar devido à utilização de camada pouco permeável ao vapor

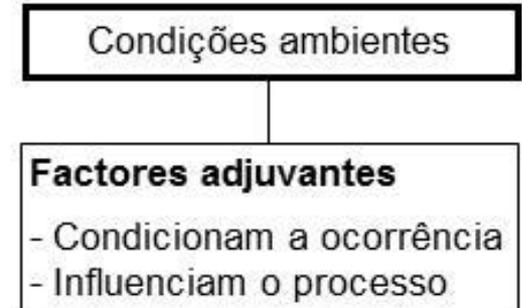
A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

T, HR e velocidade do ar

- taxa de evaporação

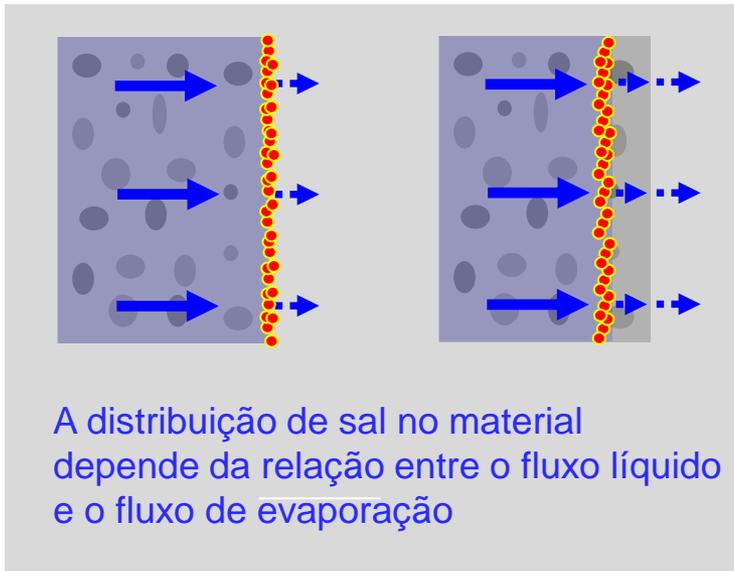
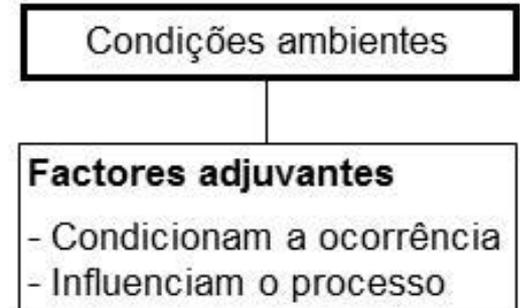


A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

T, HR e velocidade do ar

- taxa de evaporação

se mais rápida • subflorescências em vez eflorescências

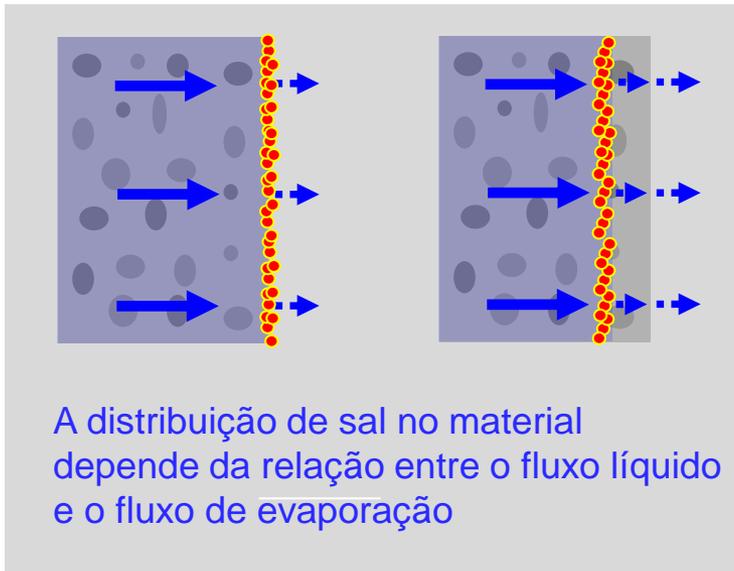
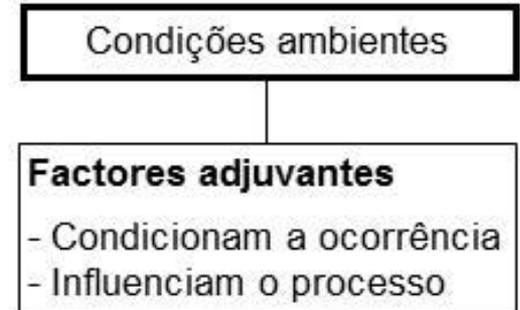


A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

T, HR e velocidade do ar

- taxa de evaporação

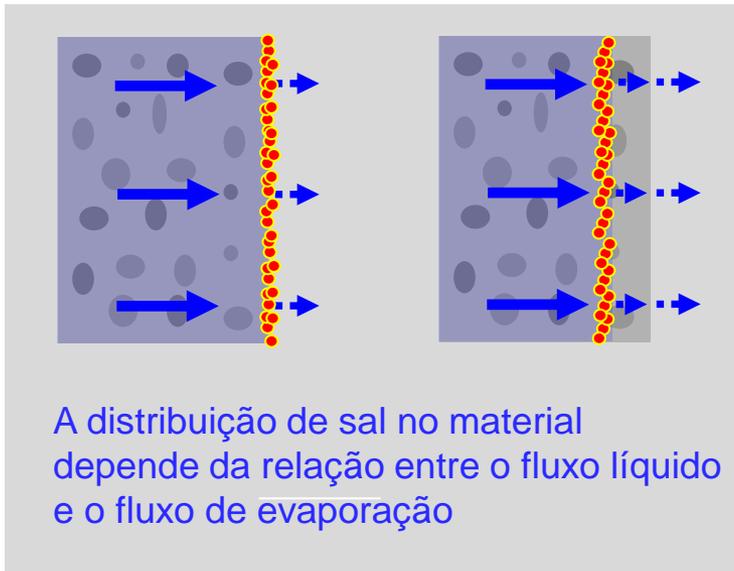
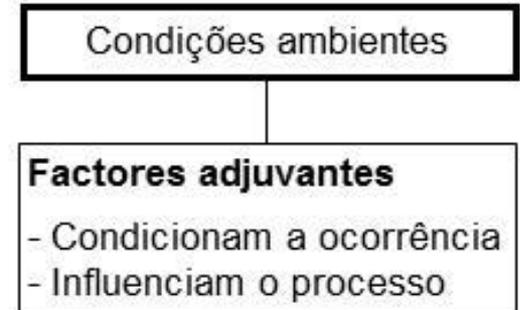
- se mais** • subflorescências em vez eflorescências
- rápida** • formas cristalinas diferentes



A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

T, HR e velocidade do ar

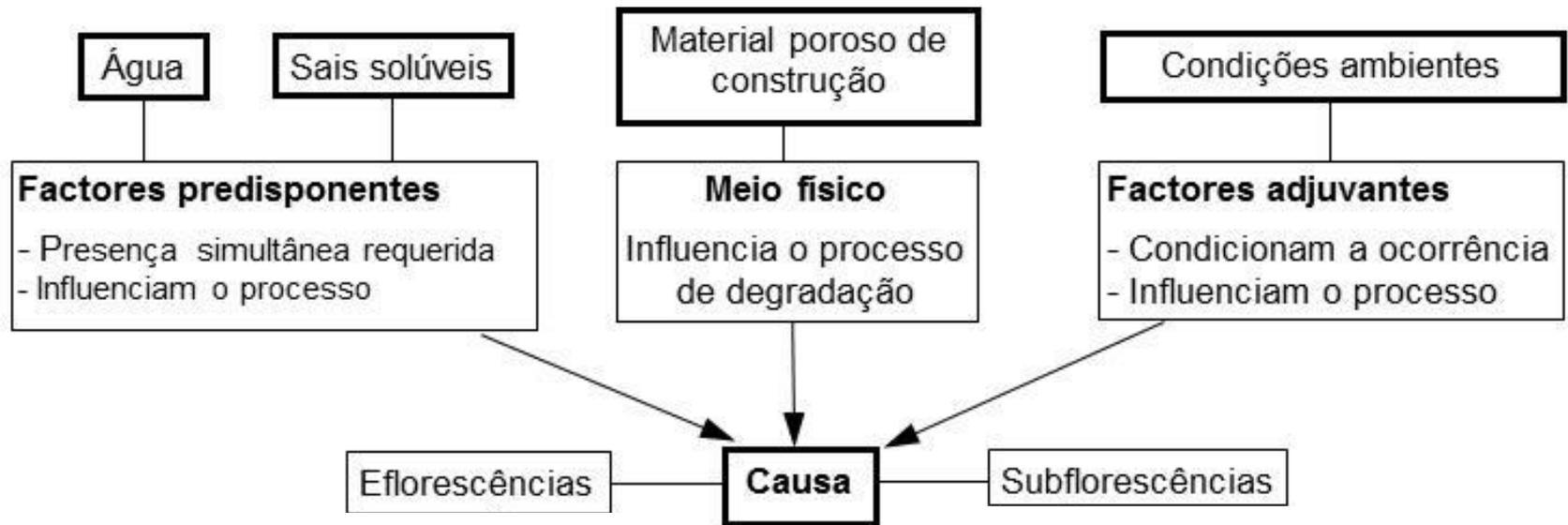
- taxa de evaporação
- se mais rápida** • subflorescências em vez eflorescências
- formas cristalinas diferentes
- pressão de cristalização



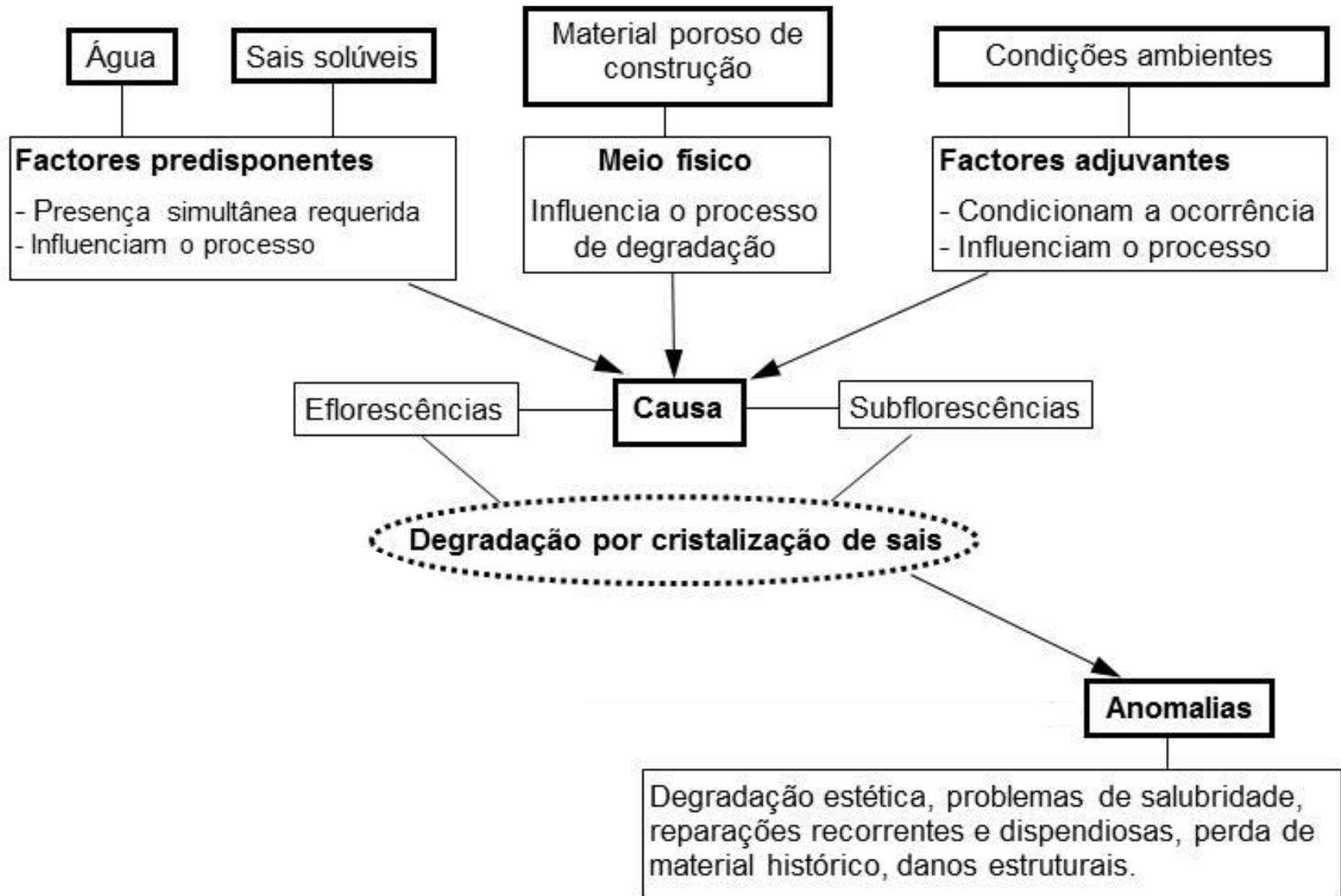
A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



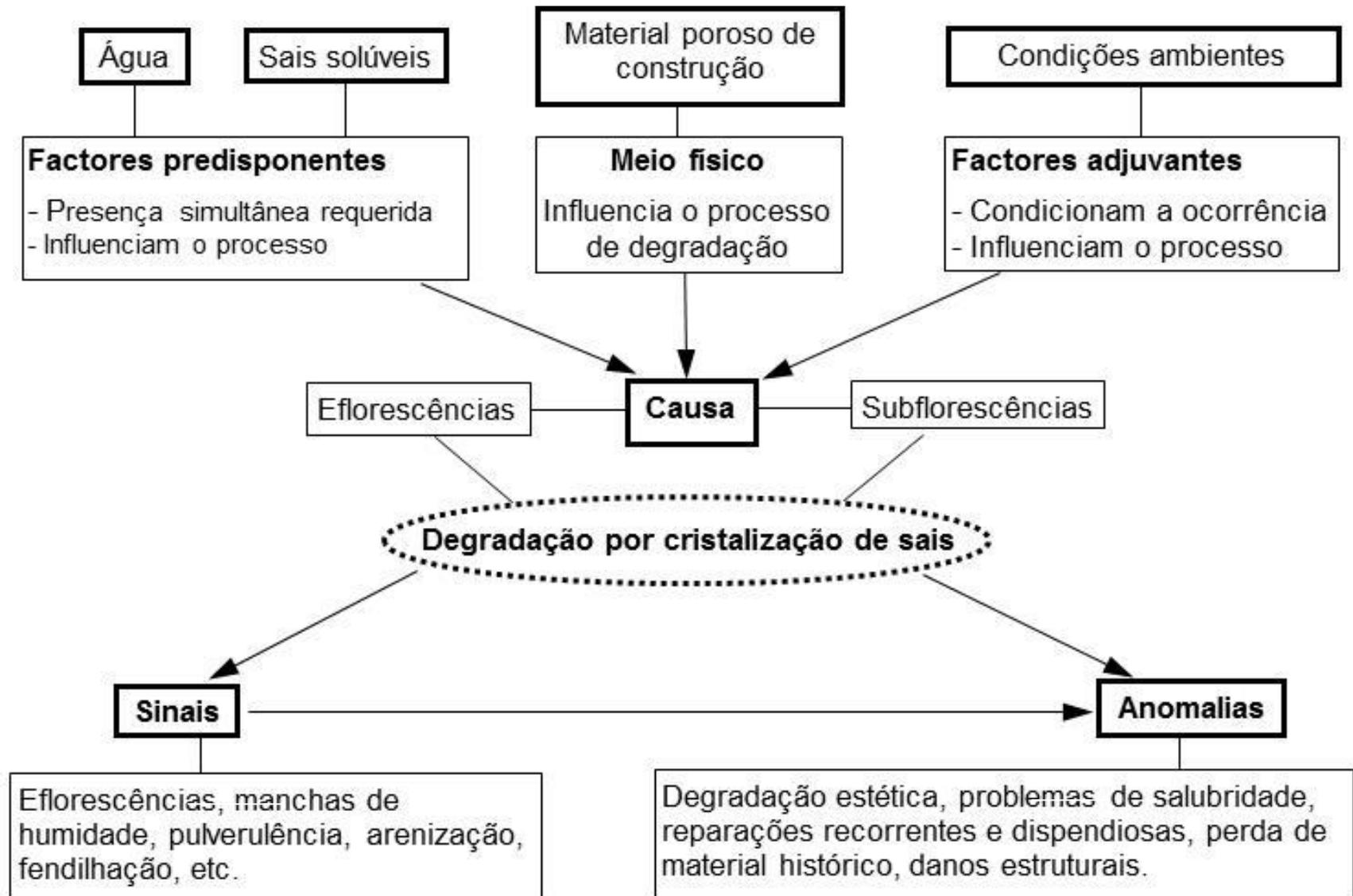
A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

> Desintegração dos materiais

- descolamento de pinturas



Sinais

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



Sinais

> Desintegração dos materiais

- descolamento de pinturas
- descamação

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



Sinais

> Desintegração dos materiais

- descolamento de pinturas
- descamação
- delaminação

> Desintegração dos materiais

- descolamento de pinturas
- descamação
- delaminação
- arenização de argamassas



Sinais

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



Sinais

> Desintegração dos materiais

- descolamento de pinturas
- descamação
- delaminação
- arenização de argamassas
- pulverulência (cerâmicos ...)

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



Sinais

> Desintegração dos materiais

- descolamento de pinturas
- descamação
- delaminação
- arenização de argamassas
- pulverulência (cerâmicos, calcários)

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



Sinais

> Desintegração dos materiais

- descolamento de pinturas
- descamação
- delaminação
- arenização de argamassas
- pulverulência (cerâmicos, calcários)
- erosão, etc.

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

> Desintegração dos materiais

- descolamento de pinturas
- descamação
- delaminação
- arenização de argamassas
- pulverulência (cerâmicos, calcários)
- erosão, etc.

> Humidades



Sinais

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



Sinais

> Desintegração dos materiais

- descolamento de pinturas
- descamação
- delaminação
- arenização de argamassas
- pulverulência (cerâmicos, calcários)
- erosão, etc.

> Humidades

> Danos estéticos e de salubridade

- eflorescências

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património



Sinais

> Desintegração dos materiais

- descolamento de pinturas
- descamação
- delaminação
- arenização de argamassas
- pulverulência (cerâmicos, calcários)
- erosão, etc.

> Humidades

> Danos estéticos e de salubridade

- eflorescências
- manchas, etc.

Monumentos Pátrios, azulejos e galos de Barcelos: as muitas faces do património tangível

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

Controlo da degradação

Controlo da degradação

- Degradação natural



Controlo da degradação

- Degradação natural
 - lenta



Controlo da degradação

- Degradação natural
 - lenta
 - funcionalmente coerente
 - **manutenção**



Controlo da degradação

- Degradação natural
 - lenta
 - funcionalmente coerente
 - **manutenção**
- Degradação patológica



Controlo da degradação

- Degradação natural
 - lenta
 - funcionalmente coerente
 - **manutenção**
- Degradação patológica
 - rápida
 - funcionalmente incoerente
 - soluções inadequadas



Controlo da degradação

- Degradação natural
 - lenta
 - funcionalmente coerente
 - **manutenção**
- Degradação patológica
 - rápida
 - funcionalmente incoerente
 - soluções inadequadas
 - **intervenção corretiva**



Controlo da degradação

- Degradação natural
 - lenta
 - funcionalmente coerente
 - **manutenção**

↓

prevenção

↓
- Degradação patológica
 - rápida
 - funcionalmente incoerente
 - soluções inadequadas
 - **intervenção corretiva**



Intervenções corretivas



Intervenções corretivas



Intervenções corretivas



Eliminação da humidade

- Controlo da humidade ascensional (drenos, barreiras à ascensão capilar, etc.)
- Reparação de tubagens danificadas
- Isolamento térmico para prevenção de condensações
- Etc.

Intervenções corretivas



Eliminação dos sais solúveis

- Remoção mecânica das eflorescências
- Remoção de materiais contaminados
- Extração de sais:
 - Compressas
 - Recocos de sacrifício
- Remoção eletroquímica dos sais
- Remoção dos sais através de microorganismos

Intervenções corretivas



Alteração do comportamento dos sais solúveis

- Modificadores do processo de cristalização

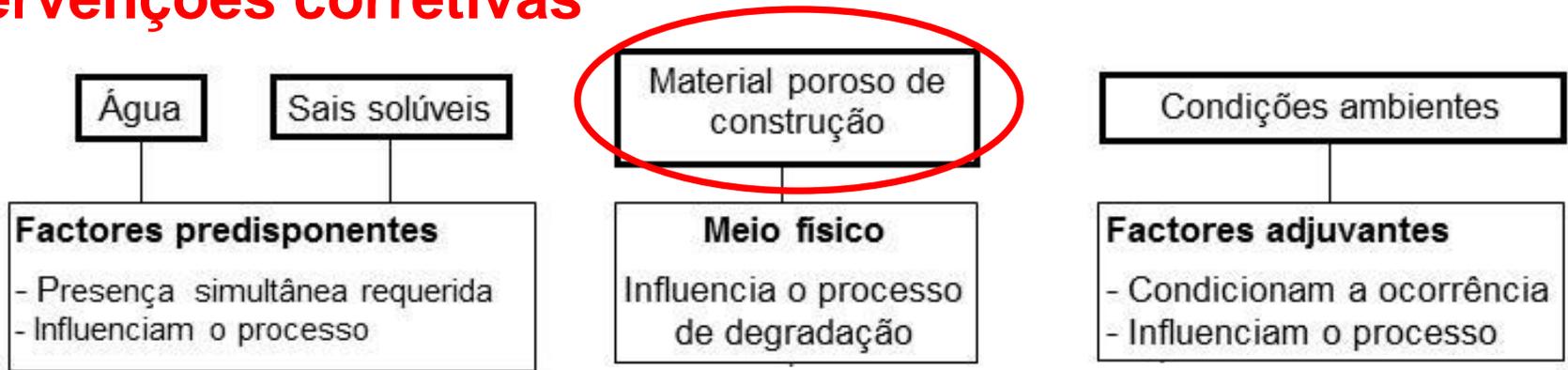
Intervenções corretivas



Alteração do meio físico

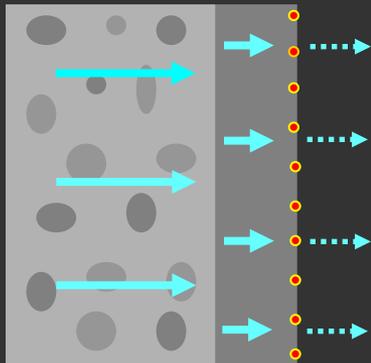
- Rebocos

Intervenções corretivas

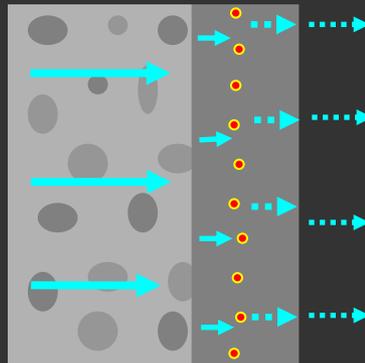


Alteração do meio físico

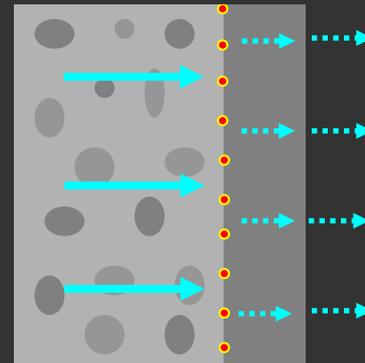
- Rebocos



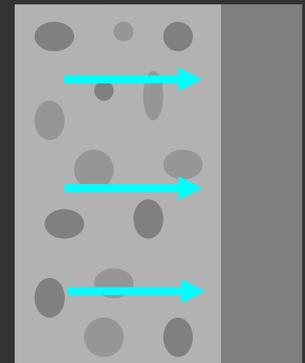
Transporte de sal
(ex: tradicionais de cal)



Acumulação de sal
(industriais/ designed)



Bloqueio de sal
(hidrófugos)



Selantes

Intervenções corretivas



Controlo ambiental

Intervenções corretivas

Conhecer vantagens e limitações dos métodos + estado do conhecimento

Escolher entre diversas soluções “imperfeitas”:

Intervenções corretivas

Conhecer vantagens e limitações dos métodos + estado do conhecimento

Escolher entre diversas soluções “imperfeitas”:

- Não intervencionar
- Seleccionar método ... possivelmente mais do que um

Intervenções corretivas

Conhecer vantagens e limitações dos métodos + estado do conhecimento

Escolher entre diversas soluções “imperfeitas”:

- Não intervencionar
- Seleccionar método ... possivelmente mais do que um

Complementaridade entre métodos, exemplos:

- Promoção de eflorescências (modificadores de cristalização, rebocos de transporte)
+ remoção mecânica de eflorescências
- Remoção de materiais contaminantes + dessalinização (rebocos de sacrifício, compressas)
- Compressas (dessalinizar a superfície => promover aderência) + rebocos
- Impedir ascensão capilar + dessalinização (rebocos de sacrifício, compressas)
ou controlo ambiental

Monumentos Pátrios, azulejos e galos de Barcelos: as muitas faces do património tangível

A perda de valor: os sais solúveis como agentes de degradação do património

Obrigada!