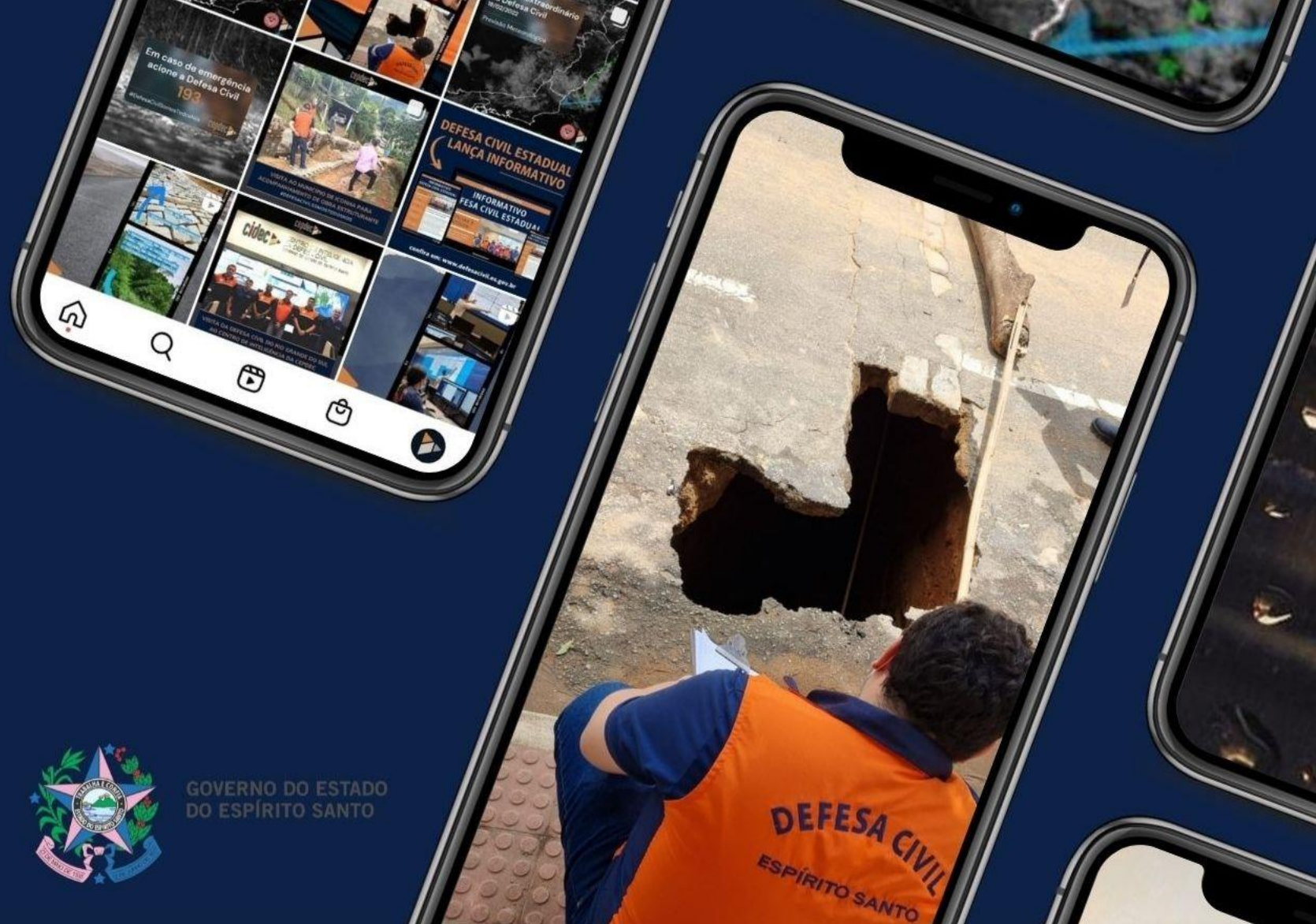




GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO

  [defesacivil.es](https://www.defesacivil.es.gov.br)
www.defesacivil.es.gov.br
#DefesaCivilSomosTodosNos

AVALIAÇÃO DE RISCO ESTRUTURAL
ENG.º DIONE H. DUARTE

Conteúdo Programado

1. ~~Fundamentação Legal~~
2. ~~Imersão em desastres tecnológicos~~
3. ~~Nivelamento~~
4. ~~Tipos de avaliações de Riscos~~
5. ~~Fissuração das Estruturas~~
6. Deterioração Física das Estruturas
7. Deterioração Química das Estruturas
8. Elaboração do Relatório de Vistoria
9. Estudos de Caso
10. Avaliação do aprendizado





Durabilidade do Concreto

- Adição de água maior que o necessário;
- O pH é básico, geralmente maior que 12,5;
- Os vasos capilares deixam o concreto poroso;
- A resistência à abrasão depende do tipo de agregado, fechamento granular e da zona de transição.

- A ABNT NBR 6118 obriga o projetista estrutural a especificar a relação água cimento máxima a ser utilizada na mistura;
- A ABNT 15:575 traz a especificação dos prazos de vida útil de projeto (VUP).

Sistema	VUP anos		
	Mínimo	Intermediário	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 63	≥ 75
Pisos internos	≥ 13	≥ 17	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 50	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 25	≥ 30
* Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.			

Tabela C.5 – NBR 15.575:2013

Muitos fenômenos químicos, eletroquímicos e físicos levam a deterioração , quase sempre esses fenômenos estão ligados a presença de água em contato com o concreto.

A sequência de eventos que leva a deterioração do concreto está ligada a sua porosidade.



Água

- Melhor solvente conhecido, carregando íons e gases;
- Aumenta de volume (cerca de 8,5%) ao solidificar;
- Tensão superficial que aproxima ou afasta outras moléculas

CAUSAS FÍSICAS X CAUSA QUÍMICAS

A permeabilidade do concreto é função dos poros e microfissuras presentes, sendo mais significativos os diâmetros que a quantidade dos poros.

Causas físicas

- Deterioração por desgaste superficial;
- Fissuração pela cristalização de sais nos poros;
- Fissuração pelo efeito do congelamento da água;
- Deterioração pela ação do fogo.

Causas Químicas

- Hidrólise dos componentes da pasta;
- Reações por troca de cátions;
- Reações formadoras de produtos expansivos.



Deterioração das Estruturas de Concreto

Causas Físicas

Deterioração por desgaste superficial

- Abrasão – Atrito Seco com partículas sólidas;
- Erosão – Atrito com partículas sólidas em suspensão na água;
- Cavitação: “Implosão” de minúsculas bolhas de baixa pressão (vapor d’água), originadas por fluxos de alta velocidade.

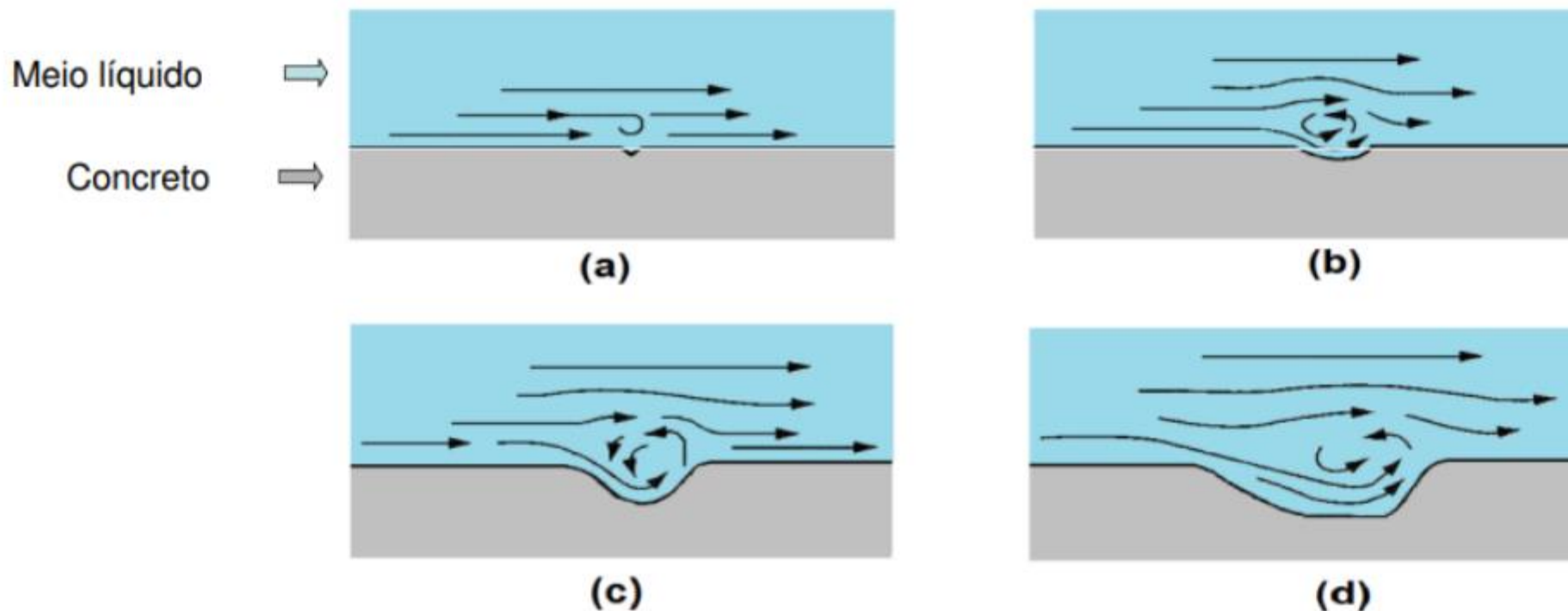
Abrasão

Atrito seco de detritos e tráfego contra o concreto.



Erosão

Provocada pelo movimento relativo do líquido e/ou o atrito de partículas sólidas em suspensão neste, contra a superfície do concreto.



Agregados expostos

Barras de aço expostas,
sofrendo corrosão



(Aguilar, J. E., 2006)

Erosão em galeria de água pluvial em região de degrau.



defesacivil.es

www.defesacivil.es.gov.br

#DefesaCivilSomosTodosNos

Cavitação

“Implosão” de minúscula bolhas, formadas por redução de pressão local de vapor, fluxos sob alta velocidade.

O fluxo de água e pequenas irregularidades das superfícies formam microbolhas de vapor instáveis, que na sequência implodem em campos de pressão mais elevada, causando micro jatos e erosão.



A implosão dessas pequenas bolhas podem ocorrer pela redução da pressão local de vapor em fluxos sob alta velocidade.

Pode haver uma combinação de efeitos entre a erosão e a cavitação.





www.defesacivil.es.gov.br



(Miranda, 1966)





<http://caltechbook.library.caltech.edu>

Dano no concreto por cavitação em duto forçado de 15,2m de diâmetro na represa Hoover (Arizona – EUA). O “buraco” tem 35m de comprimento por 9m de largura. Warnock (1945).



defesacivil.es

www.defesacivil.es.gov.br

#DefesaCivilSomosTodosNos



defesacivil.es

www.defesacivil.es.gov.br

#DefesaCivilSomosTodosNos

Deterioração pela cristalização de sais nos poros

- O concreto poroso absorve água salgada (solução de íons de Na^+ e Cl^-);
- A diferença de concentrações de sais gera pressão osmótica dentro dos poros;
- Quando evapora deixa cristais de sal sólido dentro dos poros;
- Como consequência da recristalização do sal nos poros, ocorre a descamação e fragmentação do concreto.



<http://www.garageenhancements.ca>

Deterioração pelo congelamento da água

- Concreto permeável absorve a água no estado líquido;
- Temperaturas negativas formam gelo nos poros causando um aumento de volume da água em 8,5%;
- O congelamento também gera pressões osmóticas;
- Tensões internas decompõem o concreto;
- Redução da porosidade e permeabilidade minimizam os efeitos.



Deterioração pela ação do fogo

- O concreto não é um material combustível, porém, sob temperatura elevadas, alguns componentes se decompõem.
- Incêndios atingem temperaturas superiores a 1.000°C.

Fatores que afetam a resistência do concreto armado ao fogo:

- Temperaturas maior que 100°C decompõem a etringita,
- 500°C a 600°C decompõem Ca(OH)_2 ;
- Quanto mais água dentro do concreto, como os concretos de menores idade, mais lento será o crescimento de temperatura, entretanto, a 100°C a pressão dos gases causam lascamentos.



Nos agregados

Alguns são mal condutores de calor, retardando o crescimento das temperaturas, outros tem coeficiente de dilatação muito diferentes da pasta – fragiliza a zona de transição;

Nas estruturas

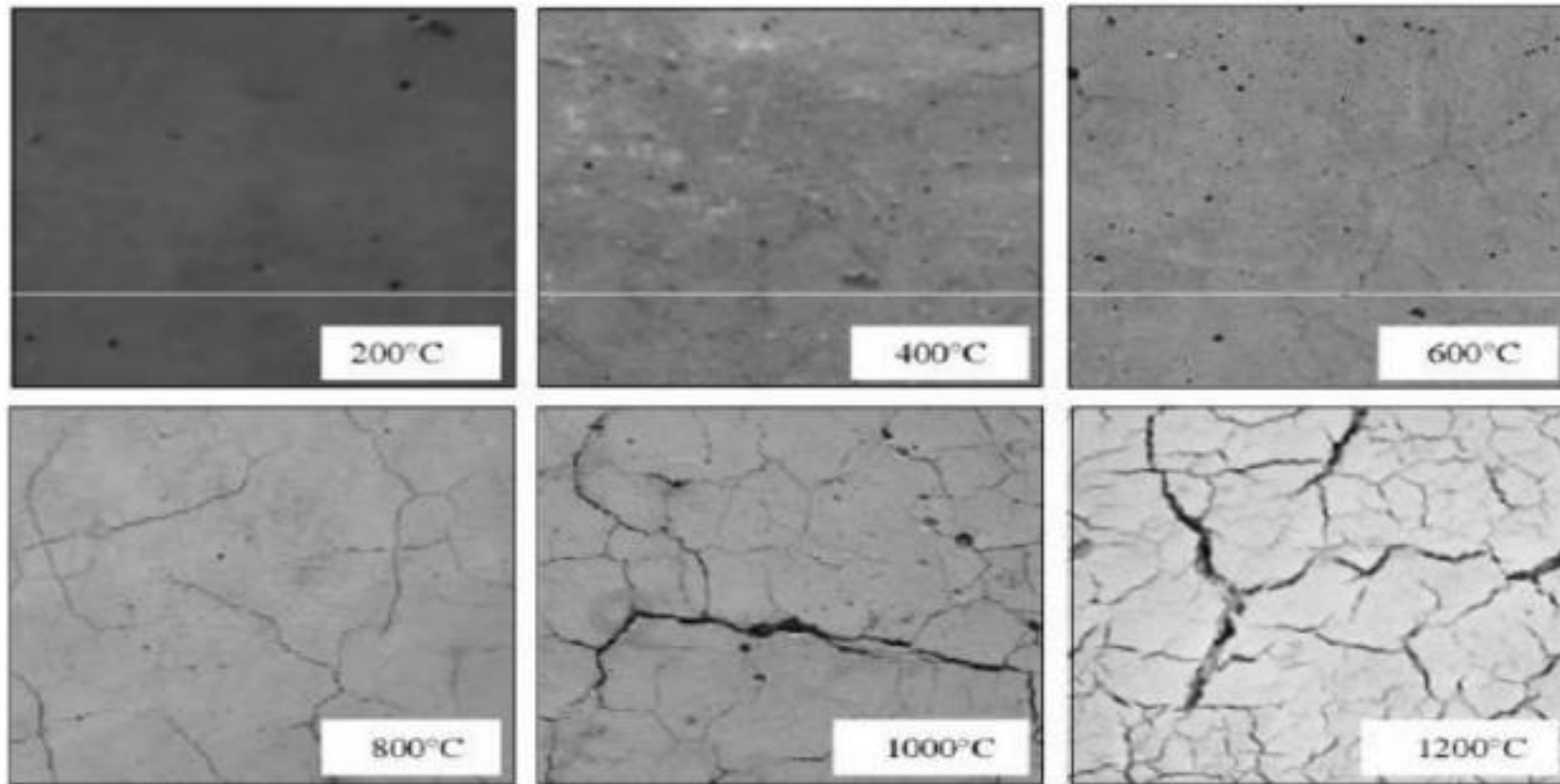
Peças mais volumosas, mais lento será o aquecimento, diminuindo a profundidade da decomposição do material.

No concreto armado:

- O coeficiente do aço é semelhante mas não é igual ao do concreto;
- A condutibilidade térmica do aço é superior a do concreto;
- Aço CA-50 perde significativa resistência acima de 700°C;
- Aço CA-60 perde significativa resistência a temperaturas bem inferiores;
- Cabos de proteção perdem maior parte da resistência até 700°C.

Ação do Fogo

Textura superficial do concreto elevado a diversas temperaturas.



(COSTA C.N., 2002)

Ação do Fogo

As condições térmicas extremas podem provocar deslocamentos no concreto. Esse fenômeno de lascamento é decorrente do processo termo mecânico, associado ao aparecimento de tensões oriundas de variação térmica e a transferência de ar, vapor e água pela rede de poros.

Esse fenômeno pode ser definido como spalling ou sloughing.

O termo sloughing é utilizado para definir o desprendimento de uma considerável porção em grande extensão da superfície do concreto.

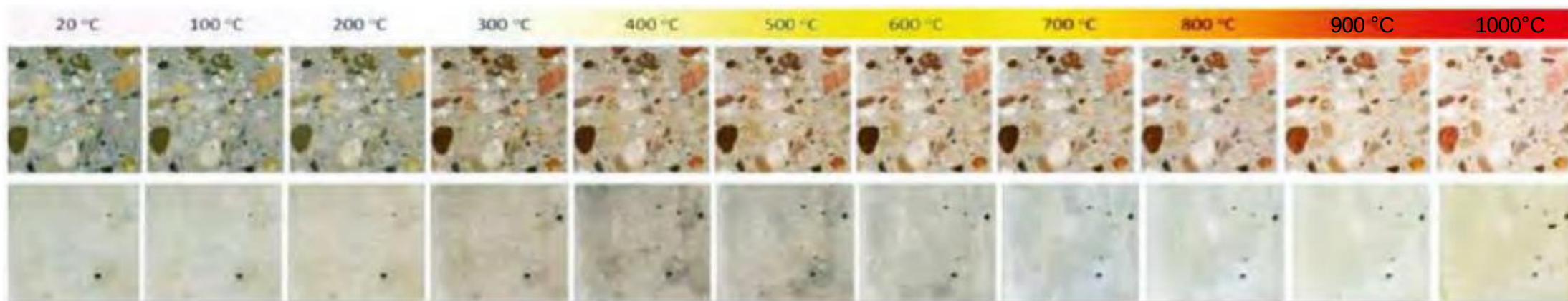
Já o spalling, é o termo utilizado quando configura-se a perda parcial, instantânea e violenta com grande liberação de energia, formando cavidades no material quando submetido a temperaturas entre 250°C e 400°C.



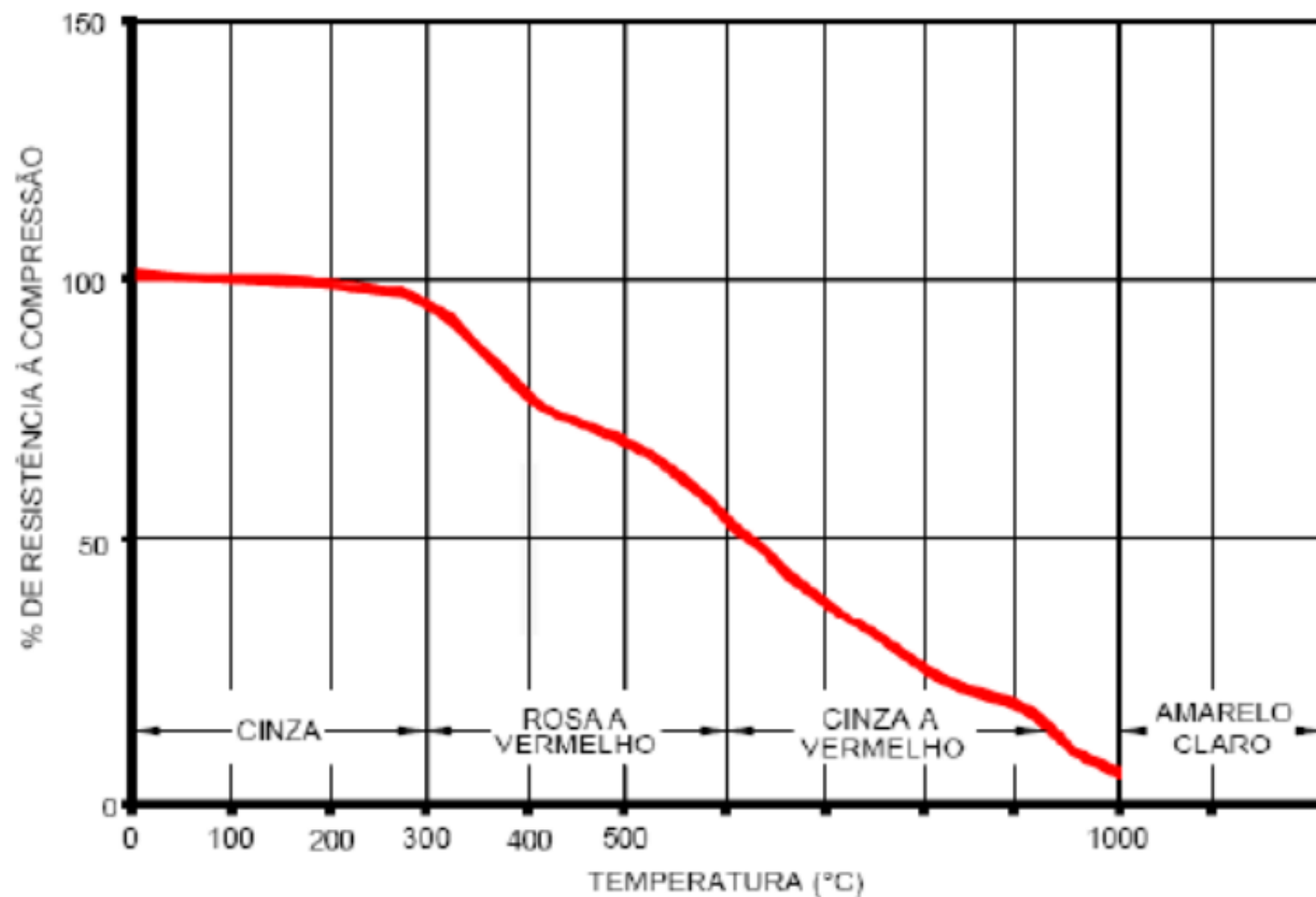
Há ainda um terceiro fenômeno, o esfarelamento, que é caracterizado pela constante exposição das camadas superficiais do concreto à ação térmica, que o enfraquece e leva a uma redução da resistência a abrasão.

De acordo com Bauer (2015), o concreto convencional apresenta mudança na coloração após resfriamento.

TEMPERATURA	COLORAÇÃO
Entre 300 e 600 °C	Rosa
Entre 600 e 900 °C	Vermelho para cinzento
Entre 900 e 1000 °C	Amarelo-claro
Acima de 1000 °C	Amarelo



Fonte: HAGER, 2013.



Fonte: CANOVAS, 1998 APUD LIMA, 2005.

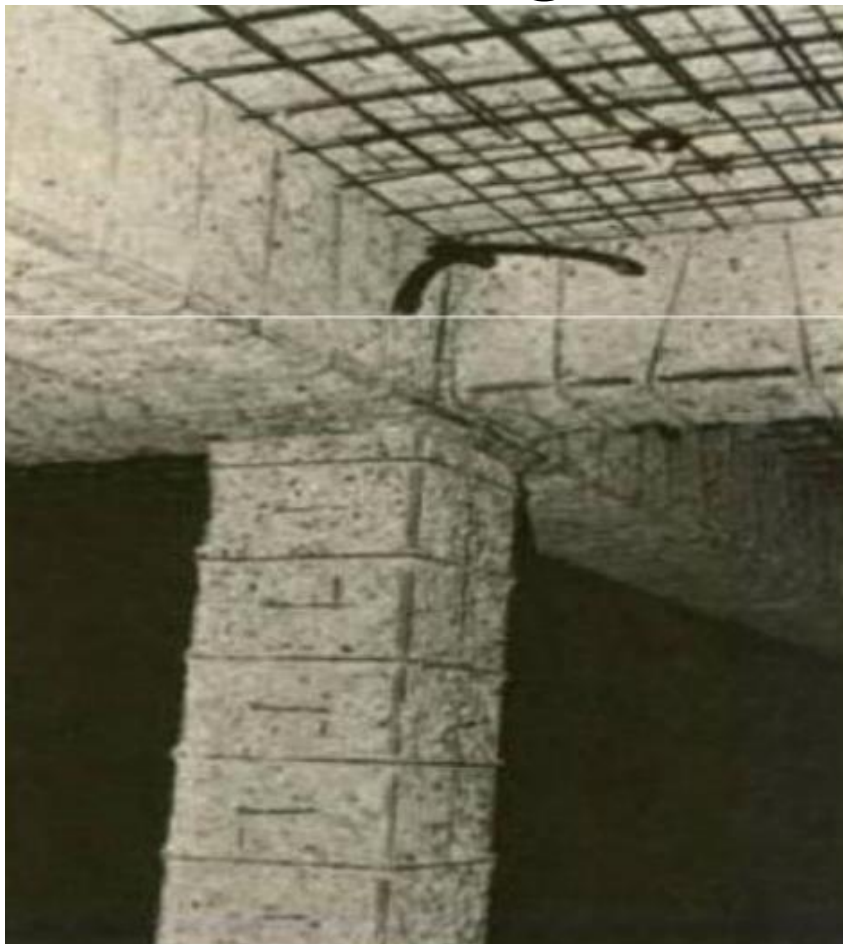


defesacivil.es

www.defesacivil.es.gov.br

#DefesaCivilSomosTodosNos

Efeitos do Fogo em estruturas de concreto





Deterioração das Estruturas de Concreto

Causas Químicas

Deterioração por reações químicas

Compostos da pasta como hidróxido de cálcio, íons alcalinos e álcalis nos fluidos dos poros elevam muito o pH (12,5 a 13,5).

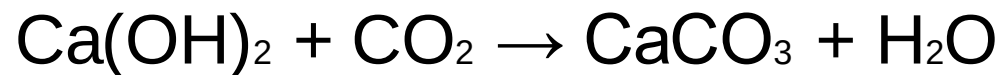
Qualquer meio com pH diferente é agressivo ao concreto. pH abaixo de 6 é extremamente nocivo, decompõe a pasta de cimento.



Hidrólise dos componentes da pasta

Águas de rios, montanhas e lagos de degelo não contém quase nada dissolvido, por isso, tem muita facilidade para decompor por hidrólise os componentes da pasta – ***ataque por água pura***.

A Hidrólise solubiliza o hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 , que por lixiviação é transportado pela água até a superfície do concreto, onde carbonata devido ao contato com o gás carbônico CO_2 do ar, gerando eflorescências esbranquiçadas.



Quando o pH está entre 8,5 e 9,0 com excesso de CO₂, acontece a formação de bicarbonato de cálcio, que é 145 vezes mais solúvel em água.



Reações por trocas catiônicas

Os compostos ácidos atacam os componentes básicos da pasta, formando sais que são solubilizados na água.



Ex.: Ataque por ácido carbônico, com $\text{pH} < 7$, originário da decomposição de matéria orgânica em água.

Nesses casos, há CO_2 livre na água. Ocorre a formação do bicarbonato de cálcio, extremamente solúvel em água.

Reações típicas em estações de tratamento de esgoto, assim como em obras com contato direto com águas ricas em matéria orgânica.





www.nm.zfm-hannover.de

Equipamento de vídeo, remotamente controlado, que gravou as imagens.



Reações por trocas catiônicas: Efeito do ataque dos ácidos

- Remoção da pasta e exposição dos agregados;
- Aumento da porosidade do concreto;
- Diminuição da resistência mecânica do concreto;
- Despassivação e posterior corrosão das armaduras.



Remoção da pasta e exposição dos agregados

Reações formadas de produtos expansivos

Decompõem o concreto gerando um aumento de volume interno, além da capacidade química, há uma destruição física da estrutura do concreto, pela fissuração e lascamento.

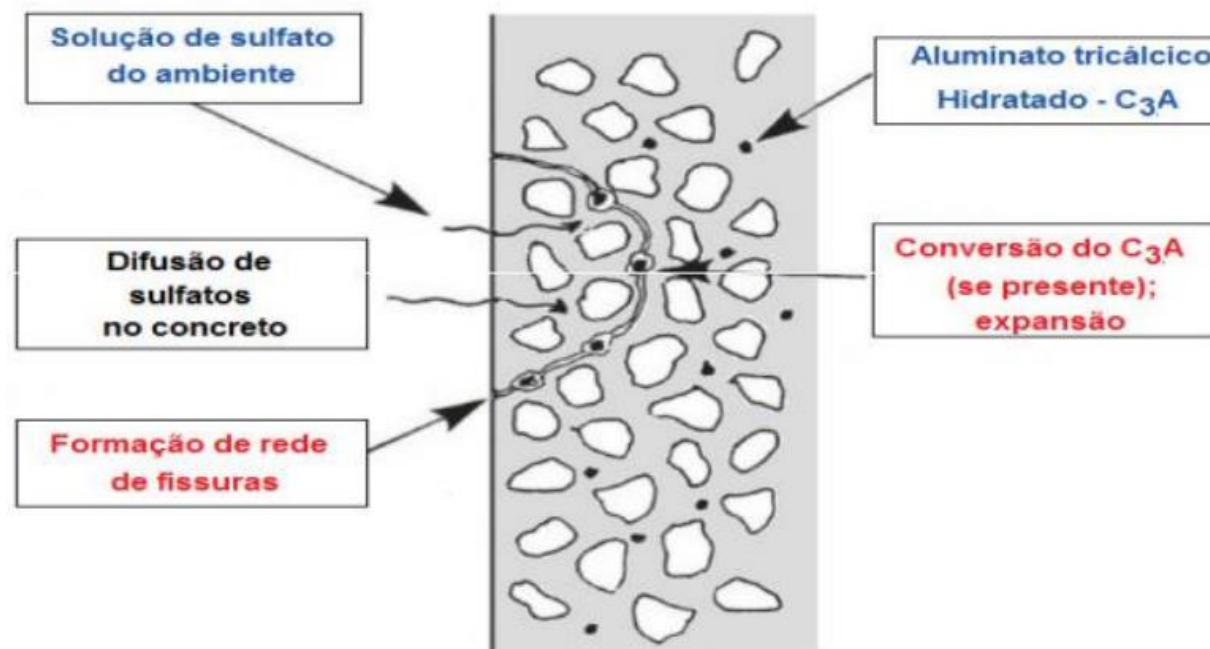
- Ataques por sulfatos (também é uma troca de cátions);
- Reações álcali-agregado;
- Hidratação retardada de cal (CaO) e óxido de magnésio (MgO);
- Reações de corrosão das armaduras de aço.

Reações com sulfatos geram um forte aumento de volume, com a consequente desagregação, lixiviação e perda de massa do concreto.



Ataque por sulfatos

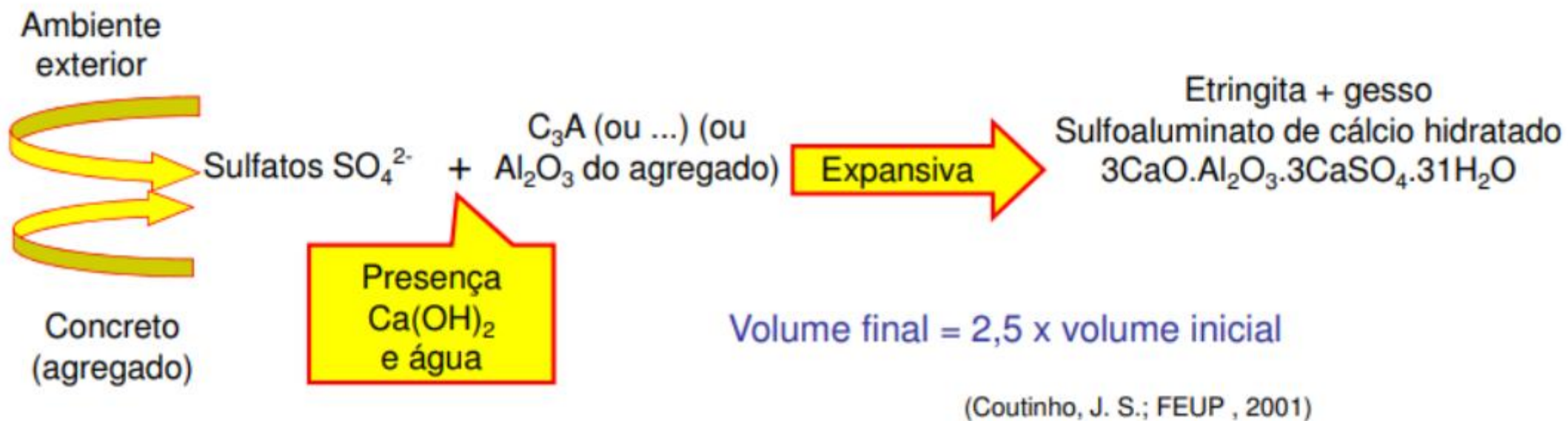
Sulfatos (SO_4^-) podem existir em: solos (gipsita), em efluentes industriais, em produtos para a agricultura (sulfato de amônia) e na água do mar.



O ataque pela água do mar contribui para expansão, fissuração e desagregação do concreto devido à ação dos sulfatos, além da lixiviação e corrosão de armaduras pela ação dos cloretos.







A reação c/ sulfato de magnésio é mais devastadora, pois decompõem os silicatos de cálcio hidratados e reage com os aluminatos e o hidróxido de cálcio.



Reação álcali-Agregados (RAA)

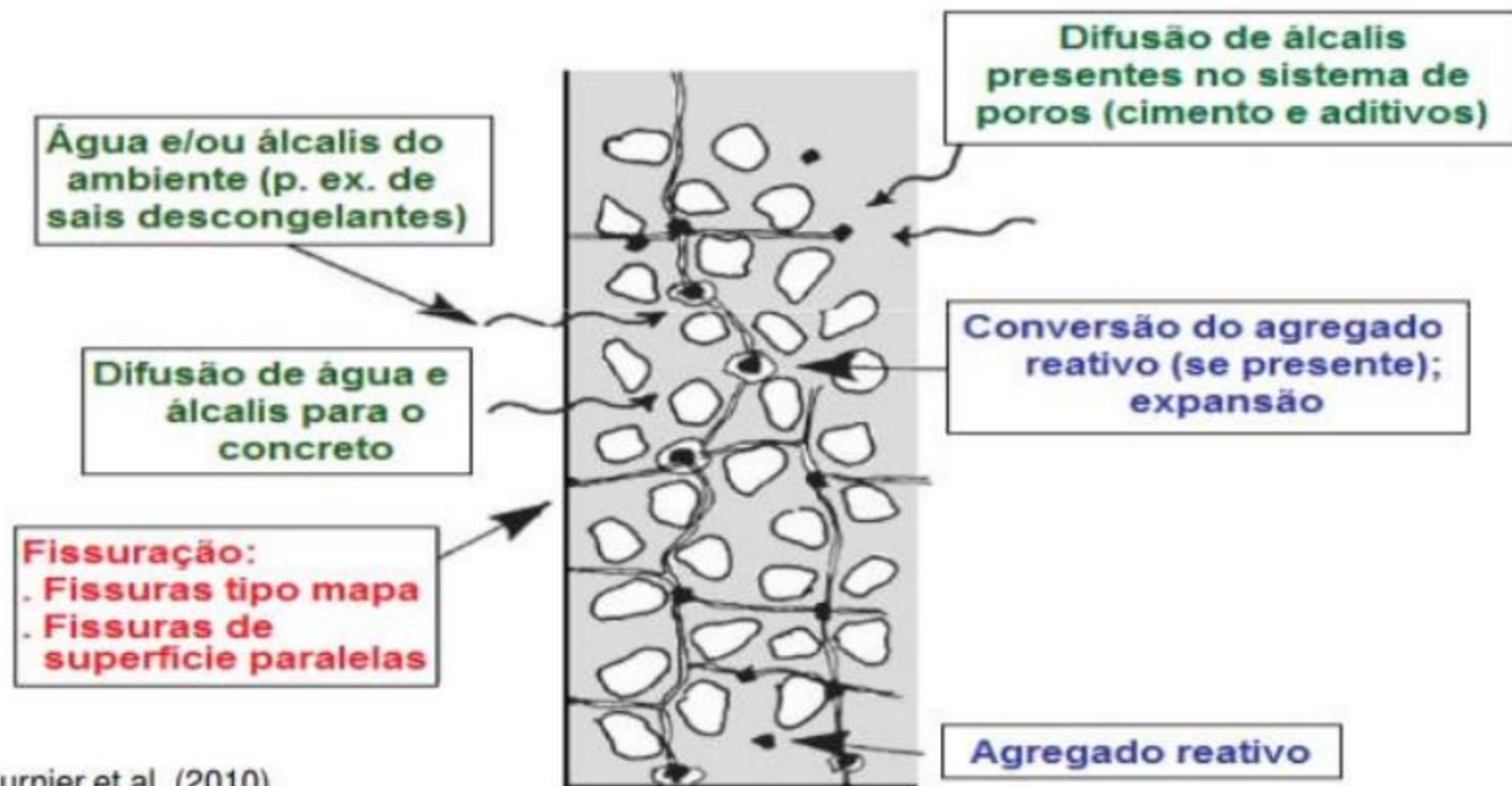
- Álcali-sílica;
- Álcali-Silicato (mais comum no Brasil);
- Álcali-carbonato.

Reações entre os álcalis (K_2O e Na_2O), na presença de água reagem com a sílica ou os carbonatos presentes nos agregados, gerando resíduos muito expansivos.

Álcalis – origem:

- Cimento (0,2 a 1,5%);
- Externa – água do mar, lençol freático.

Reação álcali-Agregado (RAA):



Fournier et al. (2010)



As reações álcali-agregado se desenvolve de forma lenta, em geral levam anos para que apareçam as primeiras manifestações.

A velocidade dessas reações varia de acordo com alguns fatores, entre eles:

- Reatividade dos agregados (reativos a álcalis);
- Temperatura (temperaturas maiores aceleram);
- Tipo de minerais de sílica e tamanho das partículas;
- Contribuição externa de íons alcalinos
- Presença de água e íons OH^- no concreto.



Gel Maciço Gretado no Poro (450 X).
Imagem MEV

Gel na interface agregado/argamassa.
Imagem microscopia óptica.

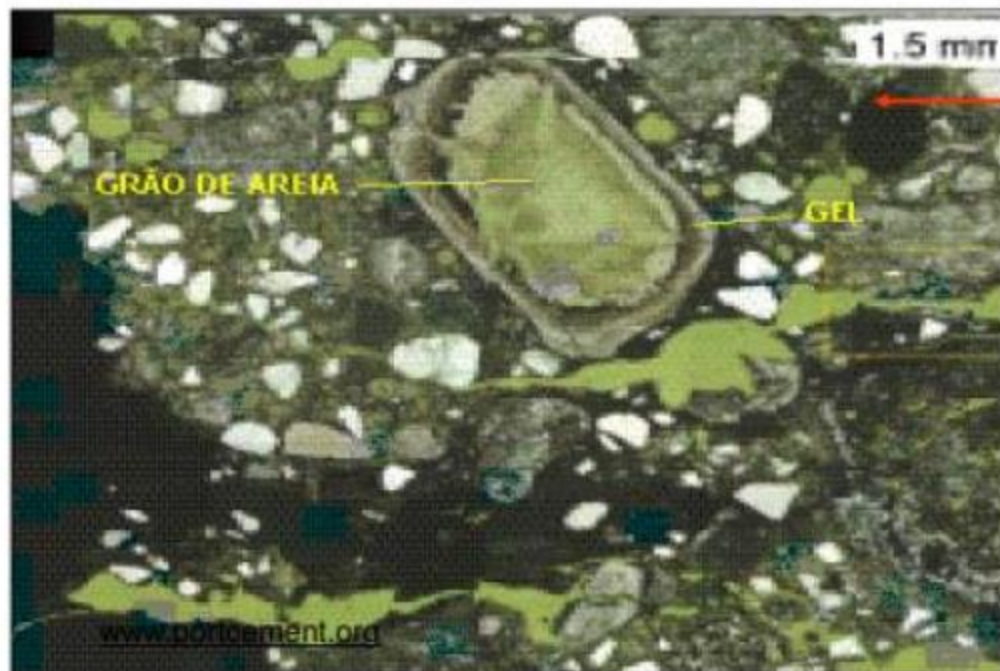


O gel absorve água da pasta de cimento próxima e expande. Eventualmente as pressões dessa expansão excedem a tensão de resistência da pasta, originando fissuras no concreto.



(FERRARIS 2000, apud VALDUGA 2002)

Apresentação: Eng. Anderson F. Sabbag



Formação do gel em torno dos grãos dos agregados







(David Stark- SHRP, 1991)

Parapeito de estrutura de
ponte

RAA em pavimento de
Concreto



(David Stark- SHRP, 1991)





Fissuras posteriores ao
endurecimento decorrentes de RAA



Corrosão das armaduras

- Mais importante fenômeno quanto à durabilidade das estruturas;
- É a principal causa que leva a falência e determina a necessidade de reparos estruturais;
- É alavancada por outros fenômenos de decomposição do concreto.
- É um fenômeno eletroquímico, que necessita de: água como eletrólito, ar (fornecimento de O_2), íons negativos como Cl^- , OH^- ou metais diferentes, em contato com o aço, para formar uma “micropilha” ou célula de corrosão.

A corrosão de armaduras pode ser classificada em:

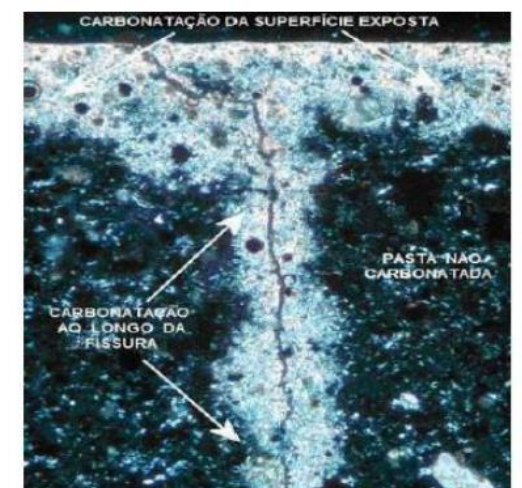
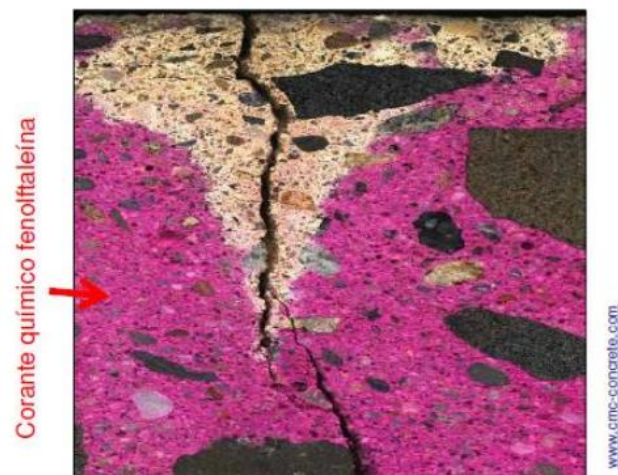
- Corrosão generalizada
- Corrosão por pite (ou puntiforme)
- Corrosão sob tensão fraturante:
 1. Ocorre eminentemente em estruturas protendidas;
 2. Podem ocorrer em estruturas de concreto armado;
 3. Sua ocorrência é grande em ambientes ricos em cloretos e com níveis elevados de tensão.

O concreto novo é um meio bastante alcalino. As armaduras estão passivas à corrosão.

Com o tempo, pode ocorrer a perda de passivação das armaduras por:

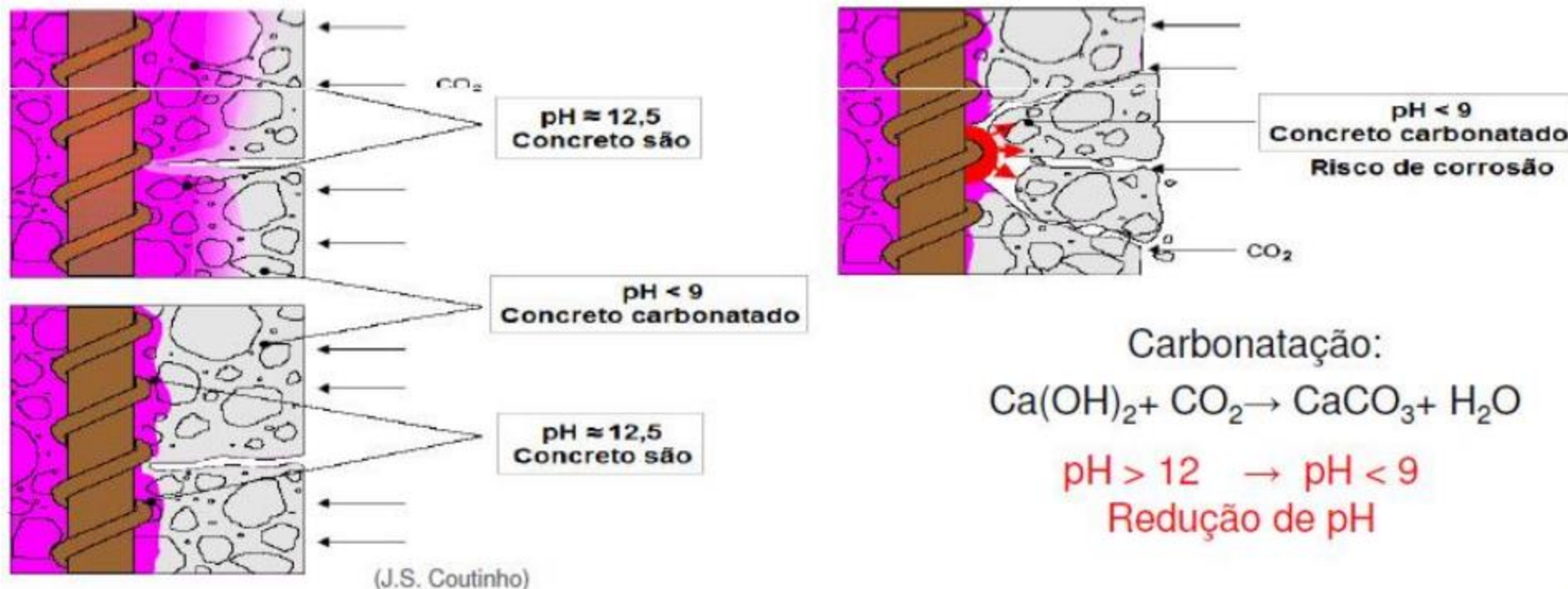
- Carbonatação do concreto;
- Presença de íons cloreto.

Em geral, a carbonatação é a condição essencial para o início da corrosão das armaduras.



Despassivação por carbonatação do concreto

Em concretos novos, o ambiente alcalino e sem a presença de cloro o aço está PASSIVO ao fenômeno.

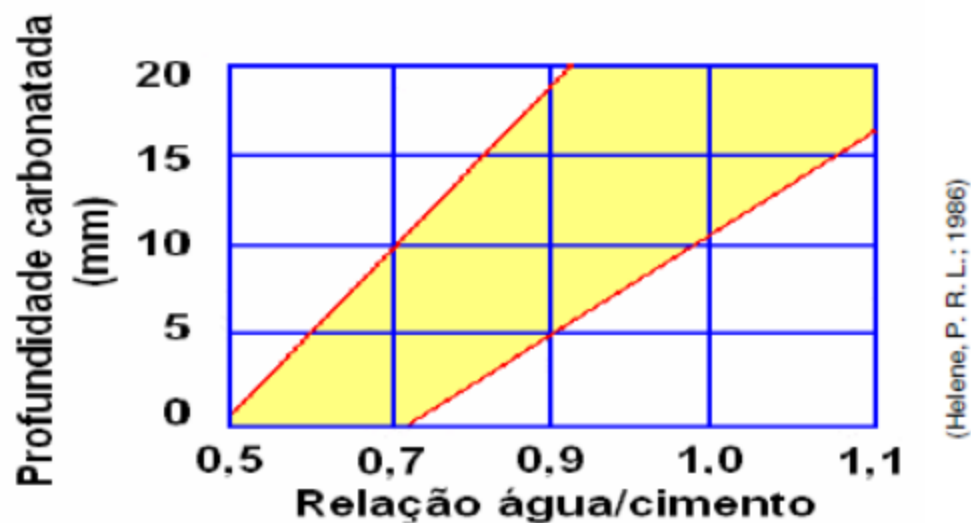


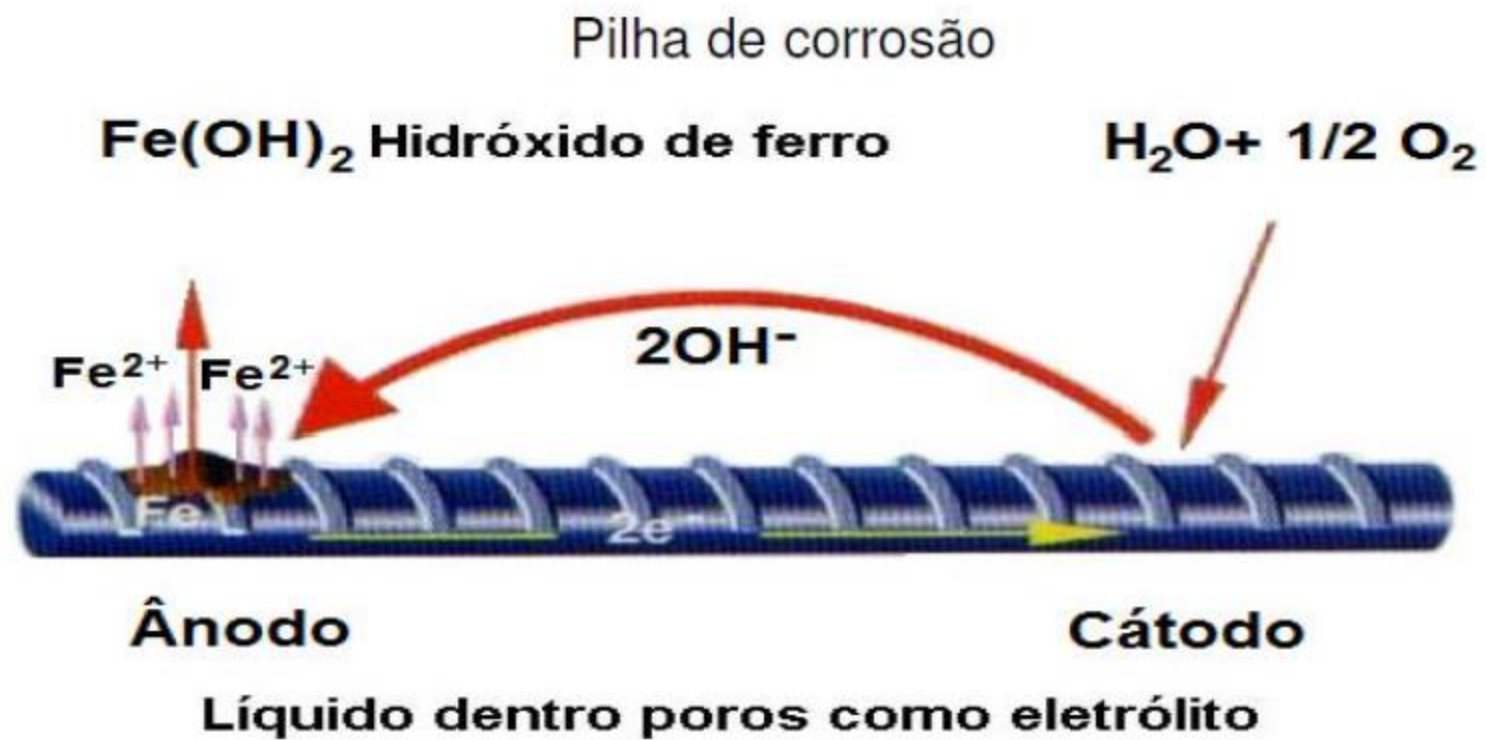




Fatores que influenciam a carbonatação do concreto

- Relação água/cimento
- Cura inadequada.





(Haddad, M., 2008)



Despassivação pela presença de cloretos

Cloretos promovem a despassivação precoce do aço, mesmo em ambientes alcalinos.

Origem dos cloretos:

- Difusão de íons a partir do exterior (atmosfera marinha);
- Aditivos aceleradores de pega (CaCl_2);
- Areia ou água contaminada por sal (NaCl);
- Tratamentos de limpeza com ácido muriático (HCl);
- Sal (NaCl) como agente anticongelante.



(CYTED, 1998)

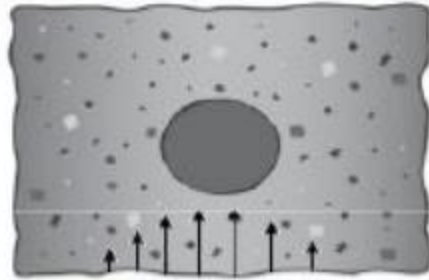


defesacivil.es

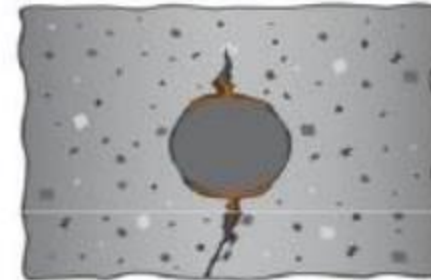
www.defesacivil.es.gov.br

#DefesaCivilSomosTodosNos

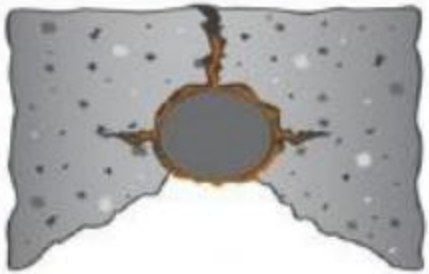
Progressão da deterioração da estrutura devido à corrosão das armaduras



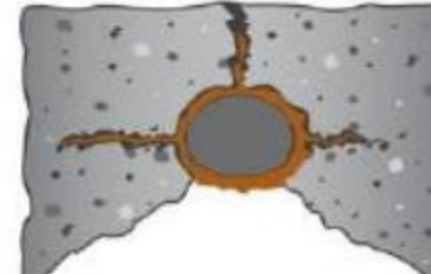
a) Penetração de agentes agressivos por difusão, absorção ou permeabilidade.



b) Fissuração devida às forças de expansão dos produtos da corrosão.



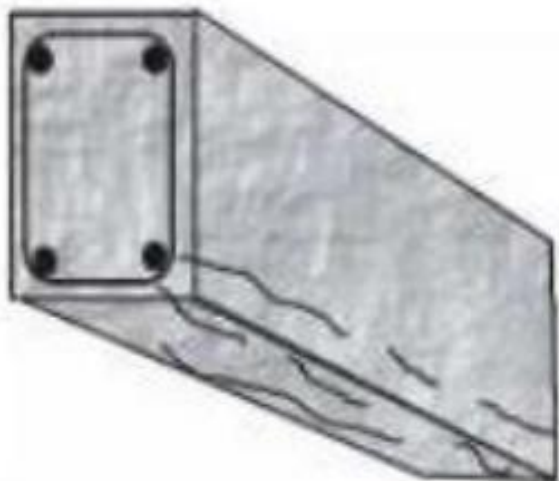
c) Lascamento do concreto e corrosão acentuada.



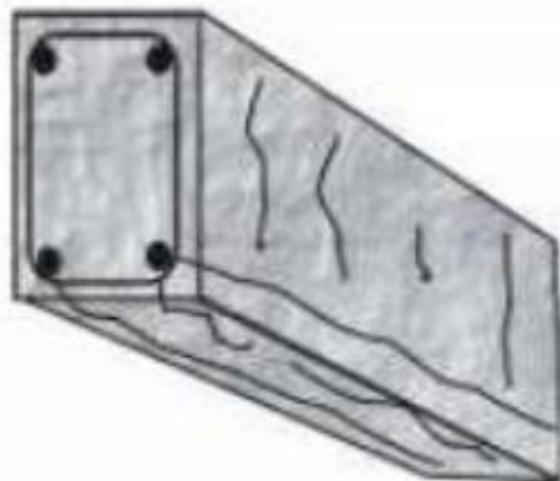
d) Lascamento acentuado e redução significativa da seção da armadura.

(adapt. de Helene, P. R. L.; 1986)

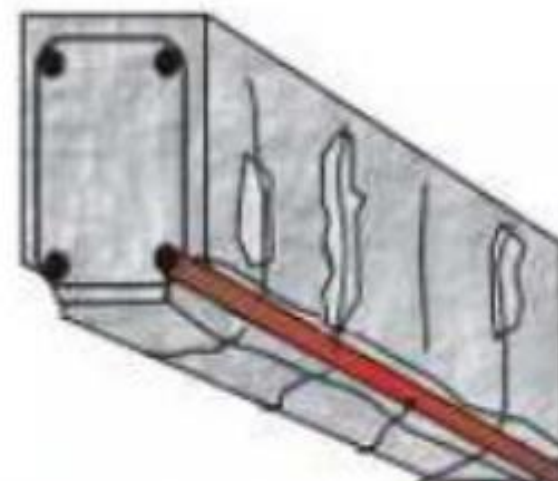




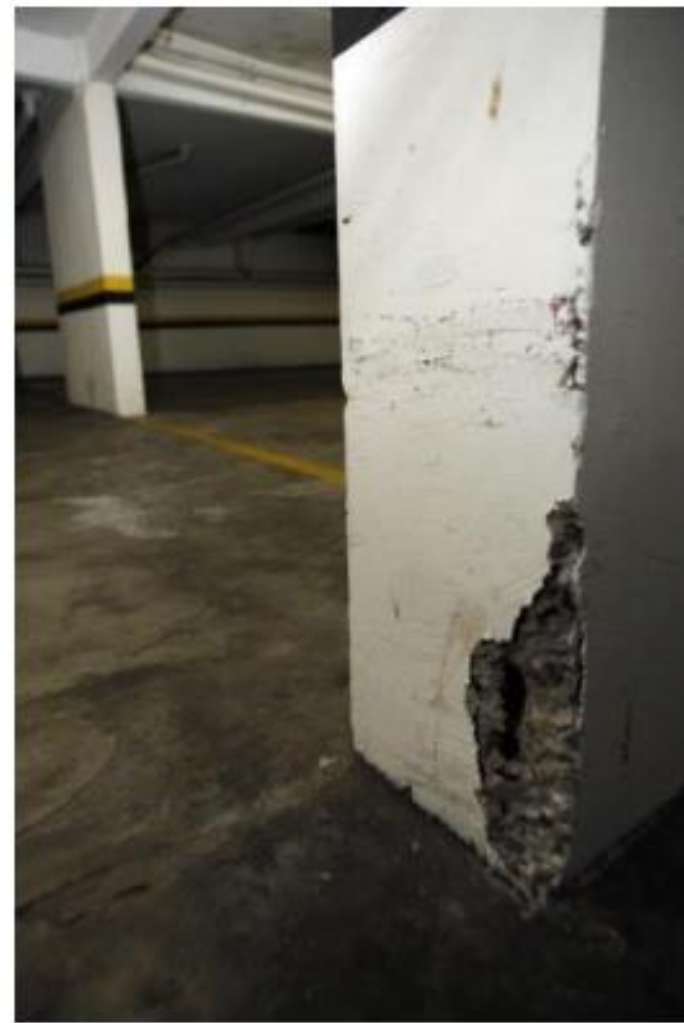
Fissuras paralelas à
direção dos esforços
principais $\Phi \leq 2\%$



Fissuras paralelas à
direção dos esforços
principais e estribos $2\% \leq \Phi \leq 5\%$



Desprendimento do
cobrimento de concreto
com exposição da
armadura $\Phi > 5\%$



Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ^a	Todos	30	35	45	55

a. Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

b. Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

c. Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV. d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.





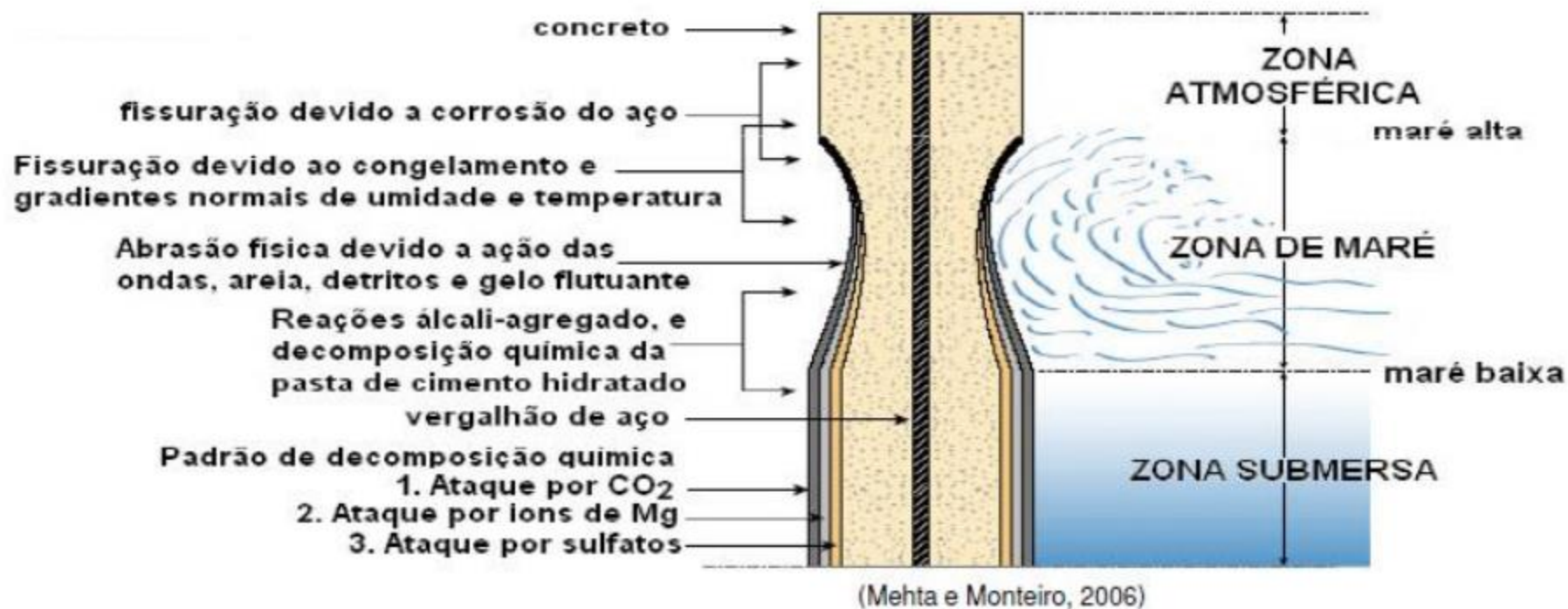
Marquise desabou na Avenida Churchill 97,
RJ. 19/12/2008

Marquises em balanço

- Lajes s/ vigas !!
- Drenagem / limpeza ?
- Impermeabilização ?
- Cobrimento ?



Estruturas de concreto em zonas costeiras são atacadas por diversos fenômenos simultaneamente, tornando o meio extremamente agressivo ao concreto.



Bibliografia:

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674. Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575. Edificações habitacionais—Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16230. Inspeção de estruturas de concreto — Qualificação e certificação de pessoal — Requisitos. Rio de Janeiro, 2013.
4. CUNHA, A. J. P.; LIMA, N. A.; SOUZA, V. C. M. Acidentes estruturais na construção civil. Vol. I. São Paulo: Pini, 1996.
5. SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 2009.
6. Lei Federal 12.608/2012 – Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Brasil, 2012.





COORDENADORIA ESTADUAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL
ESPÍRITO SANTO

Obrigado!



ENG.º DIONE H. DUARTE

Gerente de Operações

Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil

#DefesaCivilSomosTodosNos

  [defesacivil.es](https://www.defesacivil.es.gov.br)
www.defesacivil.es.gov.br