

Boas Práticas no Controle Tecnológico do Concreto

Reações expansivas



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

Paulo Helene

Diretor PhD Engenharia

Conselheiro Permanente IBRACON

Prof. Titular Universidade de São Paulo

Presidente de Honra ALCONPAT Internacional

Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design

Conselheiro da CNTU e SEESP

Radisson Campinas

07 de novembro de 2017

Campinas/SP

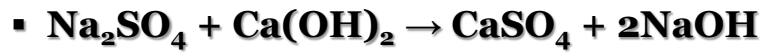
1

Reações expansivas

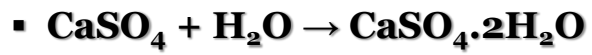
- ✓ **Álcali agregado: sílica reativa**
- ✓ **CaO e MgO cristalinos**
- ✓ **Sulfatos: gesso e “ettringita”**

2

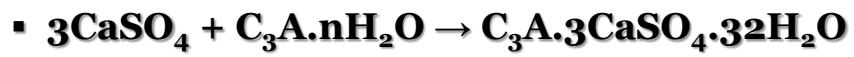
Ação de Sulfatos



Lixiviação



Expansão



74

150

715

Expansão

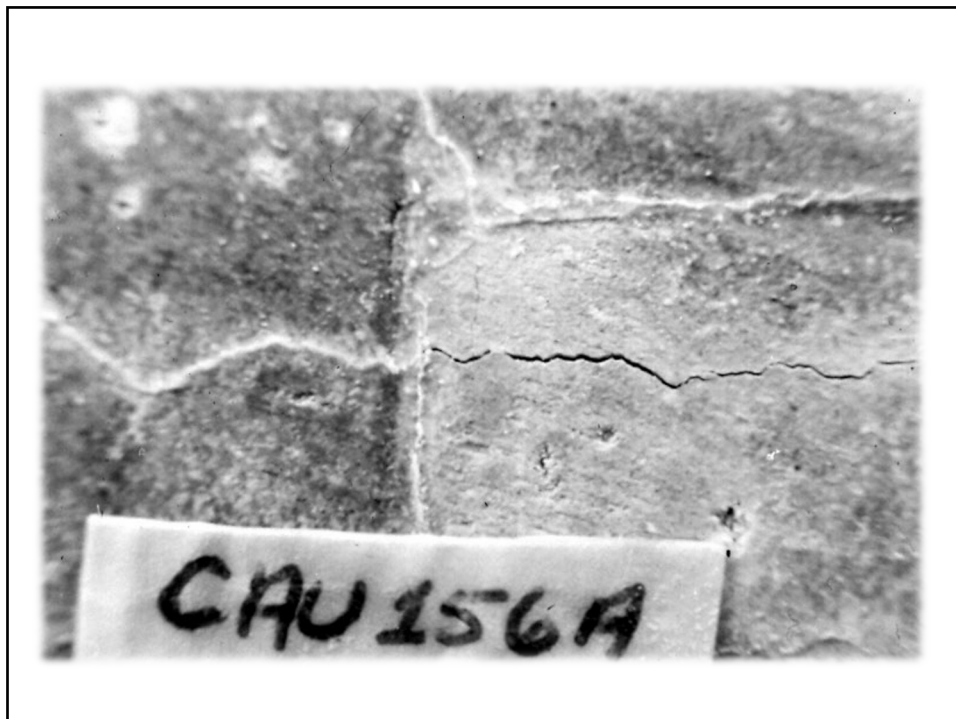
3



4

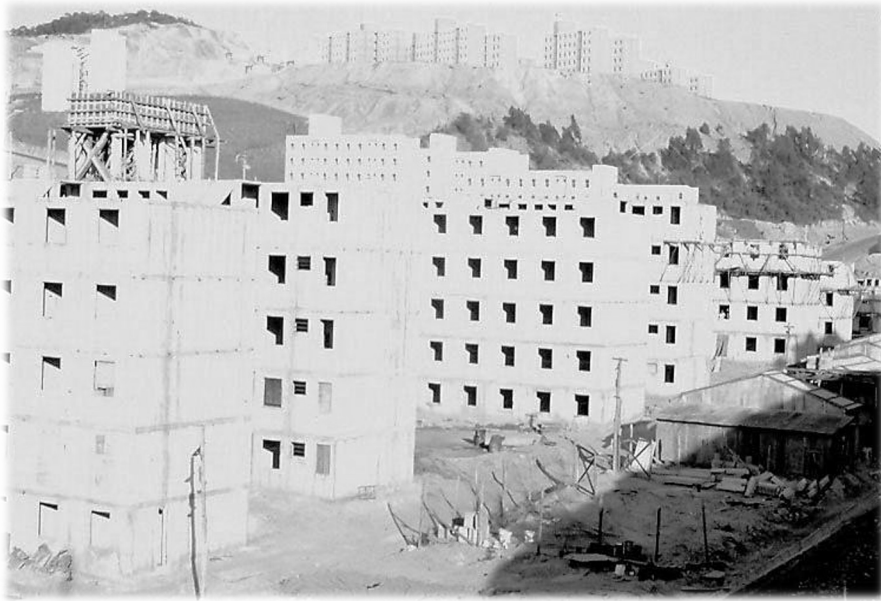


5



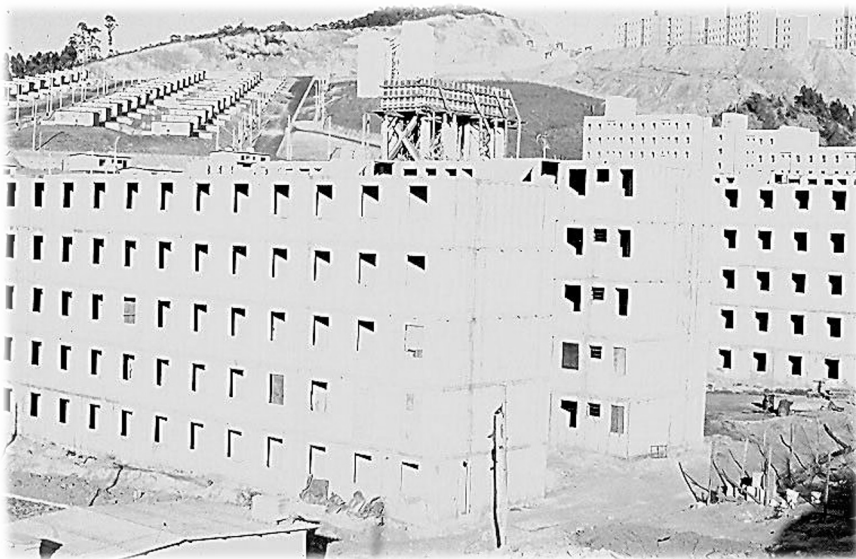
6

Processo Construtivo Cimento + Gesso → 1981



7

5.000 unidades (edifícios “térreo+4” e casas)



8



9



10



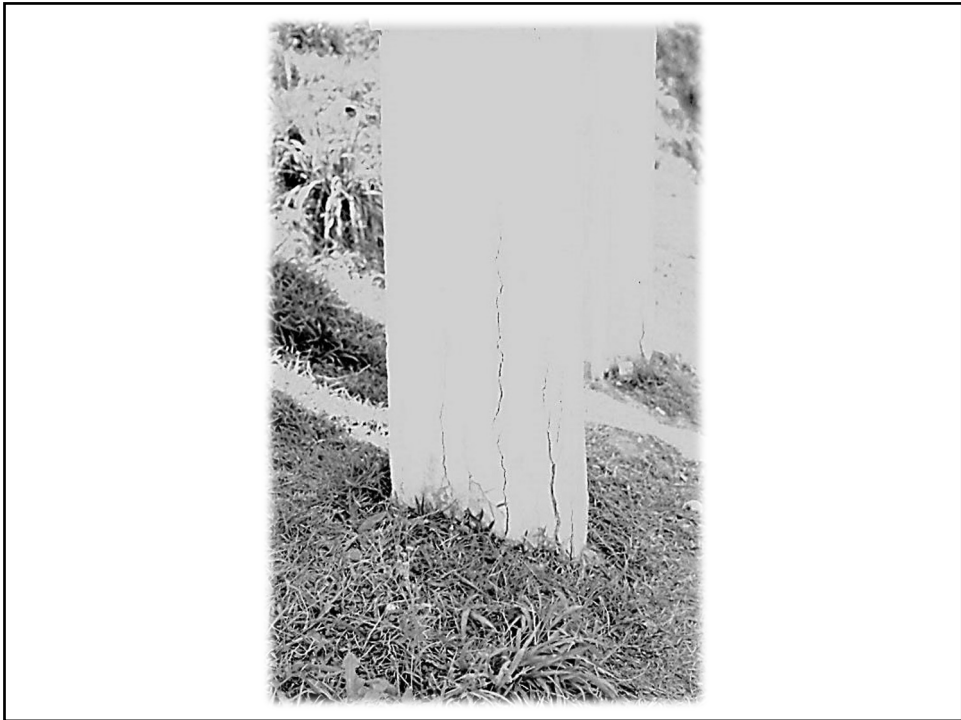
11



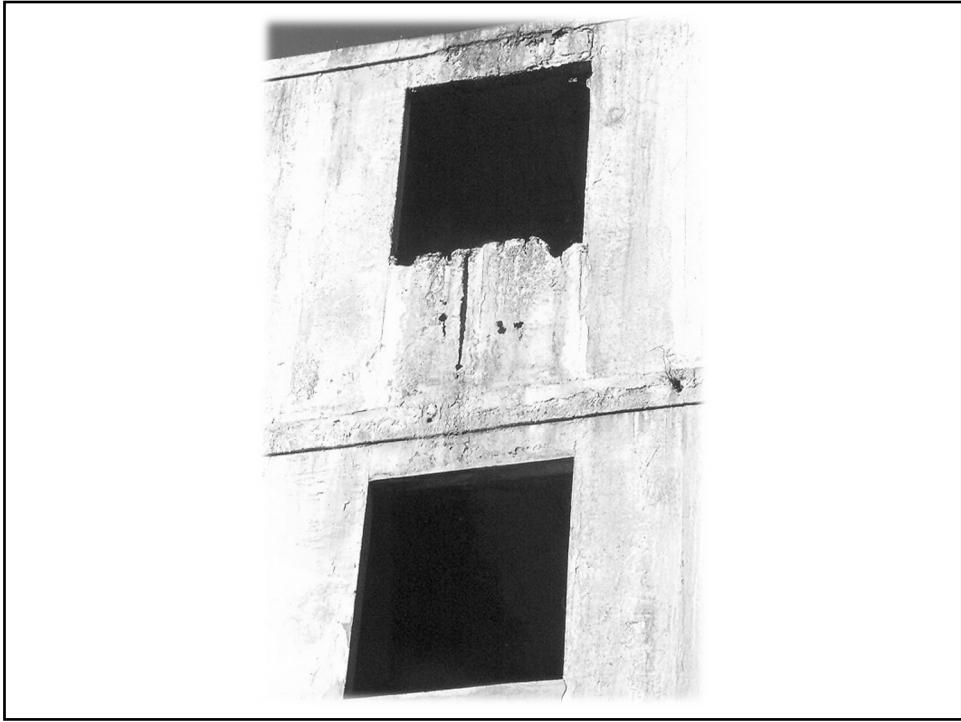
12



13



14



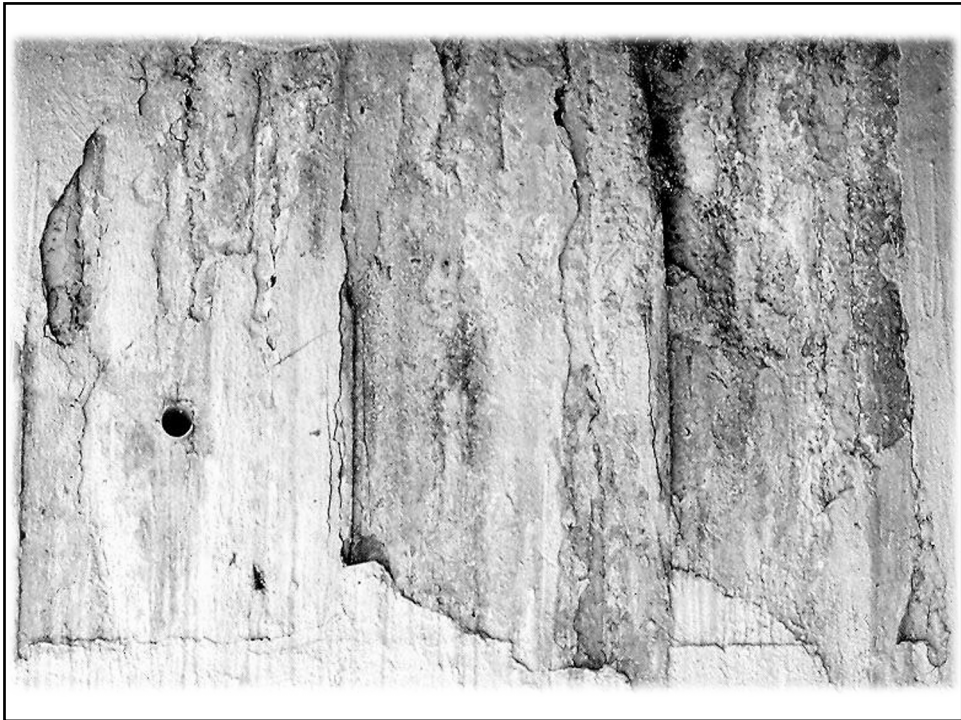
15



16



17



18

Histórico

A ação de sulfatos foi objeto de estudos de diversos pesquisadores:

Le Chatelier - *Recherches expérimentales sur la constitution des mortiers hydrauliques, Thèse, Paris, 1887;*

Candlot - *Ciments et chaux hydrauliques, Baudry édit., Paris, 1898;*

Lafuma – *Théorie de l'expansion des liants hydrauliques, Paris. Mat. Constr., dec. 1929 et janv. 1930;*

Thorvaldson - *Resistance of concrete to sulphate and other environmental conditions. Univerdity of Toronto Press. 1968*

19

Histórico de casos

- Ponte sobre rio Elba em Magdeburg, Alemanha:
Água com 1700mg/l de SO_4 ;
A expansão do concreto implicou em fissuração e posterior demolição.
- Barragem de Ft. Peck em Montana, EUA
Construída entre 1933 e 1940;
Água com 10.000 mg/l de SO_4
- Candlestick Park em São Francisco, EUA:
Inaugurado em 1956;
Graute localizado entre as vigas pré-moldadas e moldadas in loco da arquibancada do estádio

20

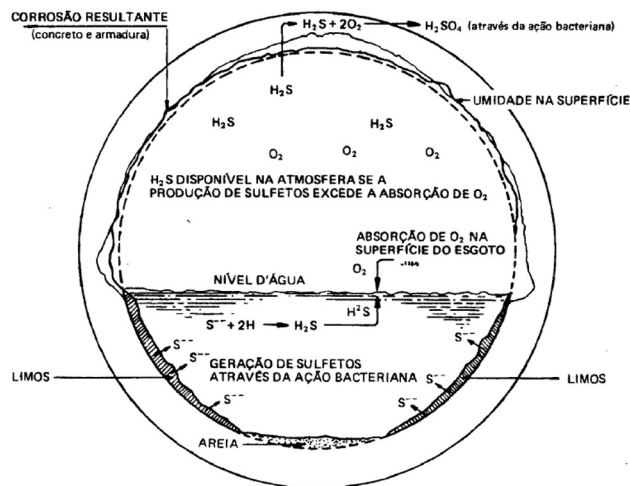
Ataque por Sulfatos externos

- Reação químicas na qual íons sulfato (SO_4) oriundos do ambiente circundante reagem com aluminatos do cimento, formando compostos expansivos (etringita+gesso) que absorvem água, gerando tensões internas que fissuram o concreto.
- O ataque desagrega a superfície do concreto, tornando-a friável;
- A velocidade de ataque é normalmente lenta (pode necessitar 5 a 20 anos para que o ataque se manifeste de forma severa);
- Pode gerar movimentações globais da estrutura;



21

Galerias de Esgoto Sulfatos externos



22

Ataque por sulfatos de magnésio externo

- Em alguns casos (**sulfato de magnésio**), a reação química pode causar a desestruturação dos silicatos de cálcio que formam a estrutura resistente do concreto transformando o concreto em Taumasita;
- O ataque desagrega a superfície e o interior do concreto, tornando-o friável e pouco resistente;
- A velocidade de ataque é normalmente lenta (pode necessitar 10 anos a 20 anos para que o ataque se manifeste de forma severa)



23

Ataque por Sulfatos internos

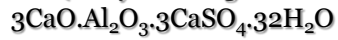
- Em alguns casos pode ocorrer uma reação deletéria entre os aluminatos do cimento com os **sulfatos internos provenientes de agregados, adições, ou mesmo reguladores de pega à base de sulfatos de cálcio (gipsita)**;
- Essa reação pode ser desencadeada pela temperatura, sempre que esta sobre passe os 65°C, e neste caso chama-se DEF (delayed ettringite formation) ou formação de etringita tardia;
- O ataque, em geral se manifesta no primeiro ano e pode gerar fissuras de grande abertura a ponto de confundir-se com AAR



24

DEF

Trata-se de uma reação por ataque de sulfatos que resulta na formação de etringita tardia (delayed etringita formation, DEF)



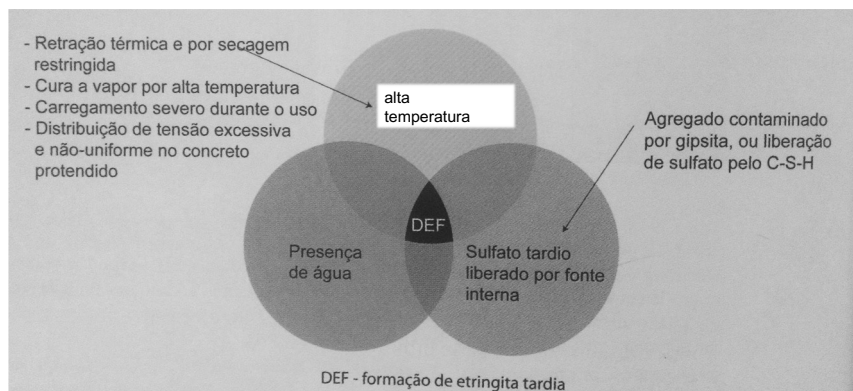
Etringita formada no concreto fresco, pode ser considerado um problema comum. Entretanto, a formação de etringita no concreto endurecido é prejudicial.

Caso a temperatura no interior do concreto atinja temperaturas de mais de 65°C, devido ao calor aplicado (cura térmica) ou a geração de calor durante a hidratação do cimento, principalmente nos casos do lançamento de concreto em grande volume, há risco da formação de etringita tardia, DEF, que pode levar à expansão e à fissuração do elemento estrutural.

Para que os efeitos nocivos ocorram, é necessário que o concreto esteja molhado ou umedecido permanente ou intermitentemente. Os efeitos nocivos são a redução da resistência, a diminuição do módulo de elasticidade e, em algumas situações, a intensa fissuração.

25

DEF



P. Kumar Mehta
Paulo J. M. Monteiro
Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais, IBRACON, 2014

26

Ataque Sulfatos -Prevenção

- ✓ Evitar teor de sulfato no solo ou na água de contato superior a 0,2% ou mais de 500 ppm
- ✓ Evitar cimentos com teores elevados de aluminatos tri cálcicos (C_3A)
- ✓ Evitar contato com águas que contenham sulfatos de magnésio
- ✓ Evitar que o concreto fresco ultrapasse $65^{\circ} C$

27

Referências Critérios de Classificação

Concentração de sulfato > 3.000 mg/kg no solo
> 600 mg/l SO_4 na água

ACI 201.2R-9 Guide to Durable Concrete

| Agressividade | Sulfato (SO_4) na água (ppm) | Recomendação |
|---------------|----------------------------------|---|
| Nível 0 | 0 – 150 | Sem limites especificados |
| Nível 1 | 150 – 1500 | Relação a/c máxima = 0,50 Cimento = Moderada resistência a sulfatos |
| Nível 2 | 1500 – 10.000 | Relação a/c máxima = 0,45 Cimento = Alta resistência a sulfatos |
| Nível 3 | > 10.000 | Relação a/c máxima = 0,40 Cimento = Alta resistência a sulfatos + pozolana ou escória |

28

ABNT NBR 6118:2014 & ABNT NBR 12655:2015 “qualidade do cobrimento”

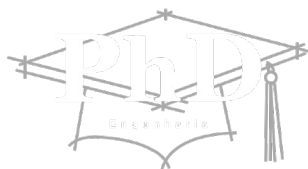
Tabela 4 Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos

| Condições de exposição em função da agressividade | Sulfato solúvel em água (SO ₄) presente no solo % em massa | Sulfato solúvel (SO ₄) presente na água ppm | Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal ^a | Mínimo f_{ck} (para concreto com agregado normal ou leve) MPa |
|---|--|---|---|---|
| Fraca | 0,00 a 0,10 | 0 a 150 | Conforme Tabela 2 | Conforme Tabela 2 |
| Moderada ^b | 0,10 a 0,20 | 150 a 1500 | 0,50 | 35 |
| Severa ^c | > 0,20 | > 1500 | 0,45 | 40 |

- (a) *Baixa relação água/cimento ou elevada resistência podem ser necessárias para a obtenção de baixa difusibilidade do concreto ou proteção contra corrosão da armadura ou proteção a processos de congelamento e degelo.*
- (b) *A água do mar é considerada para efeito do ataque de sulfatos como condição de agressividade moderada, embora o seu conteúdo de SO₄ seja acima de 1500 ppm, devido ao fato de que a etringita é solubilizada na presença de cloretos.*
- (c) *Para condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos.*

29

OBRIGADO!



“do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras”

www.concretophd.com.br
www.phd.eng.br

11.2501.4822 / 23
119.5045.4940

30