

Reações Expansivas com Sulfatos



Paulo Helene
*Diretor PhD Engenharia
Conselheiro Permanente IBRACON
Prof. Titular Universidade de São Paulo
Presidente Honorífico ALCONPAT Internacional
fib(CEB/FIP) Model Code for Service Life Design
Conselheiro CNTU e SEESP*

idd

23 de maio de 2017

São Paulo/SP

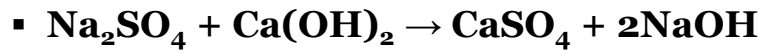
1

Reações expansivas

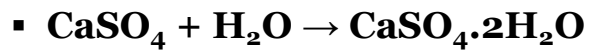
- ✓ Álcali agregado: sílica reativa
- ✓ CaO e MgO cristalinos
- ✓ Sulfatos: gesso e “ettringita”

2

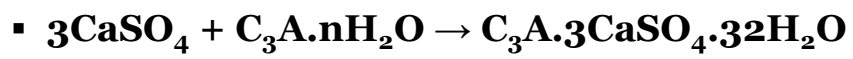
Ação de Sulfatos



Lixiviação



Expansão



74

150

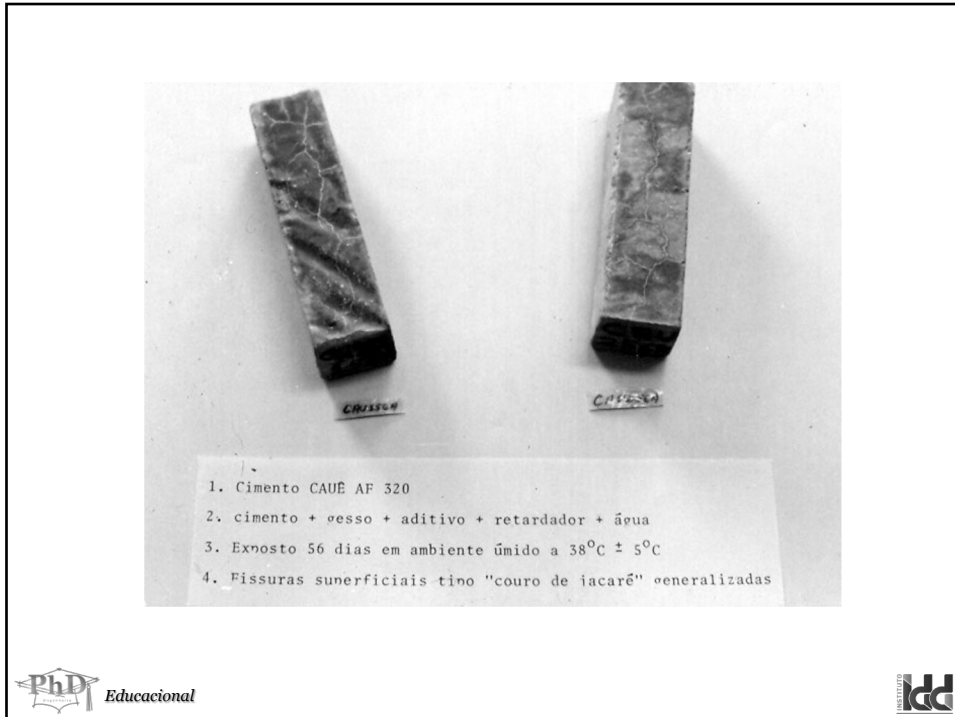
715

Expansão

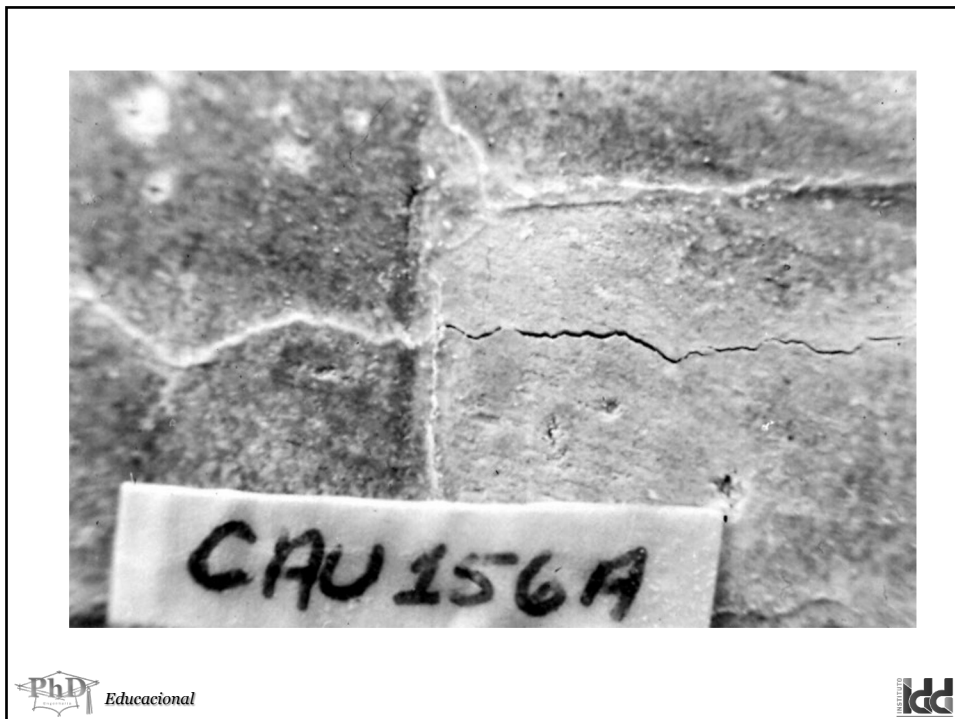
3



4

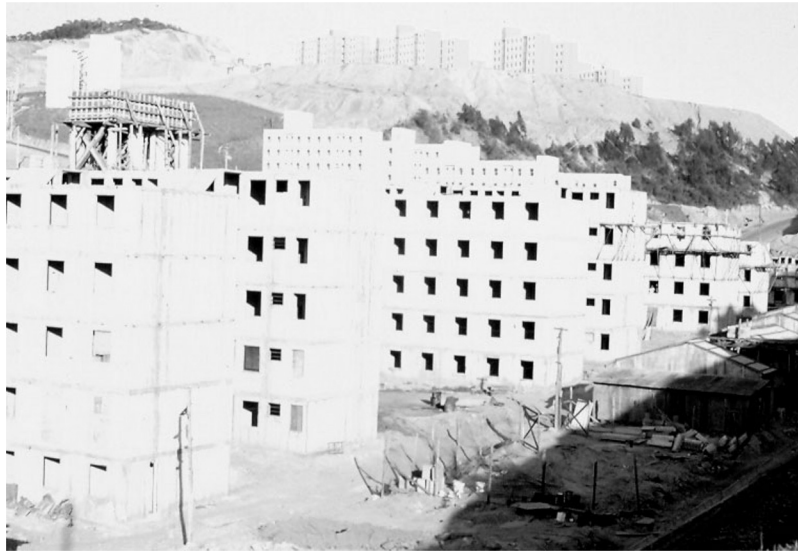


5



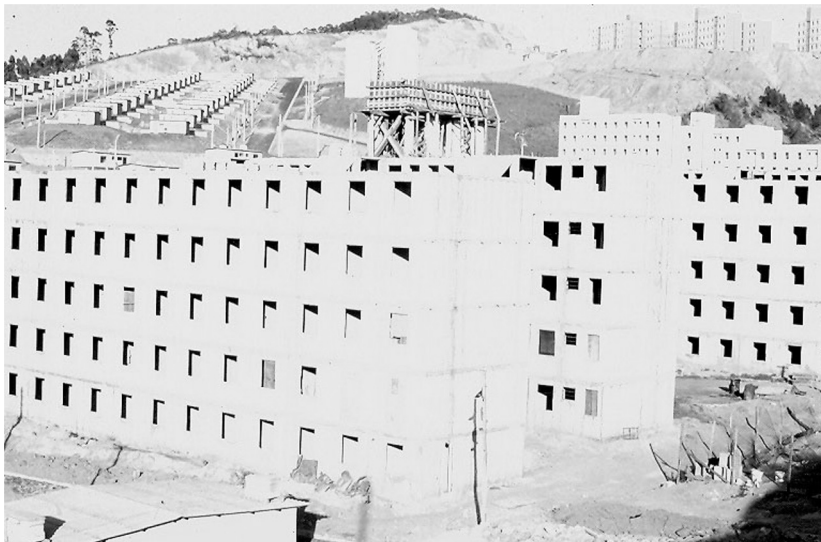
6

Processo Construtivo Cimento + Gesso → 1981



7

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



8



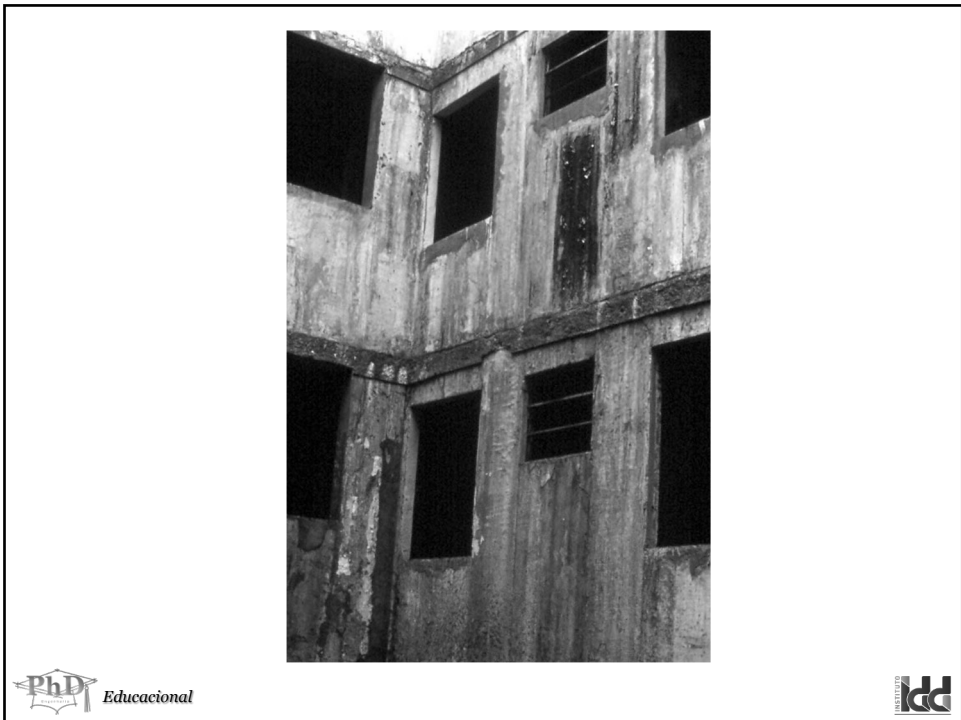
9



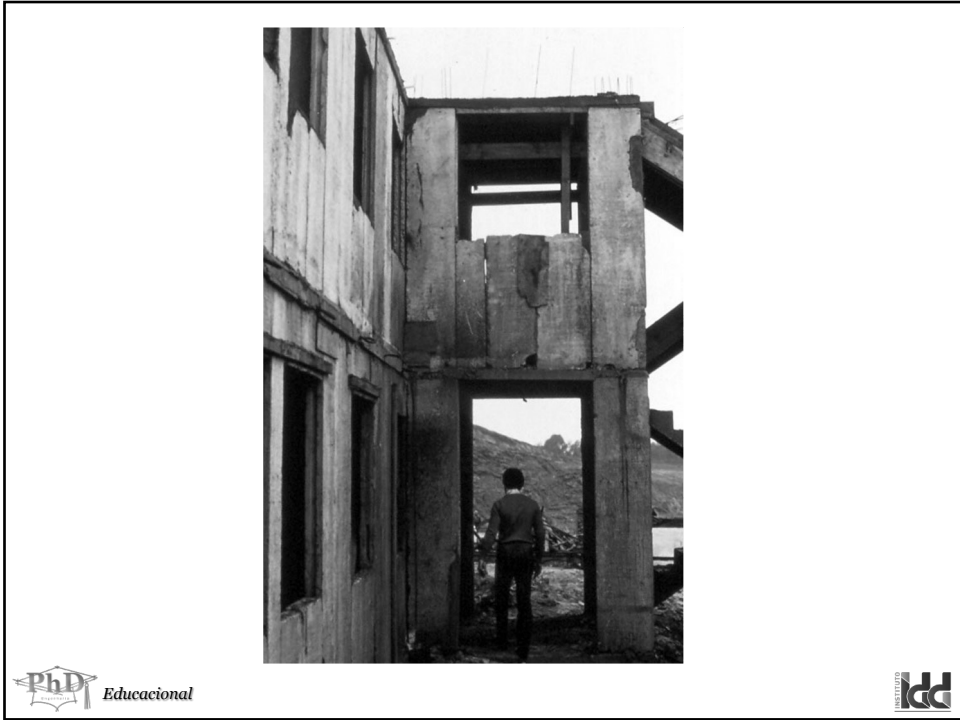
10



11



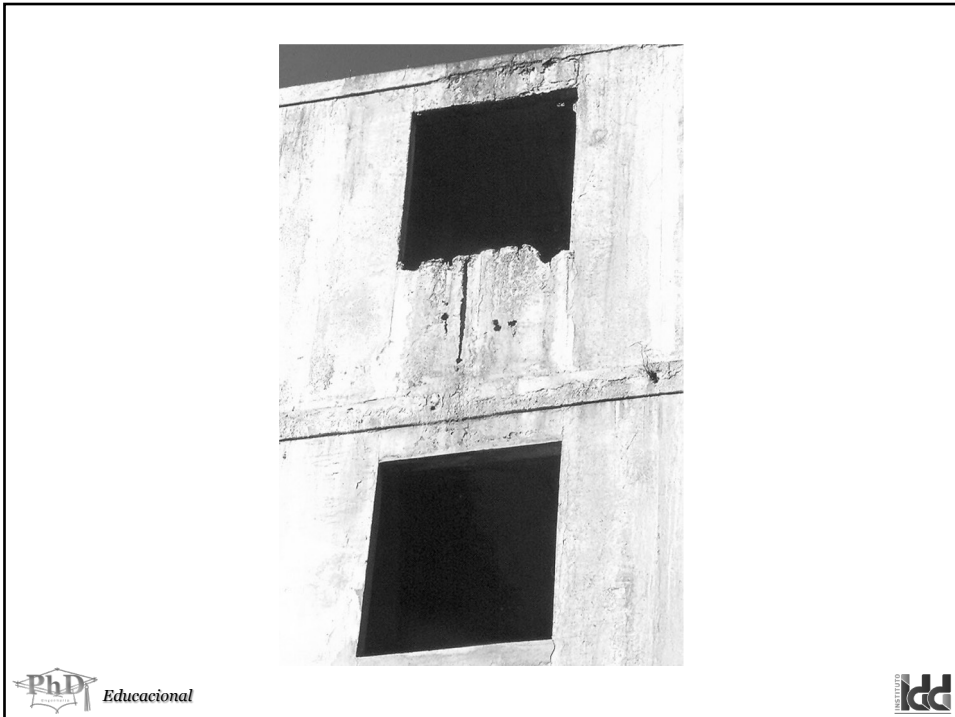
12



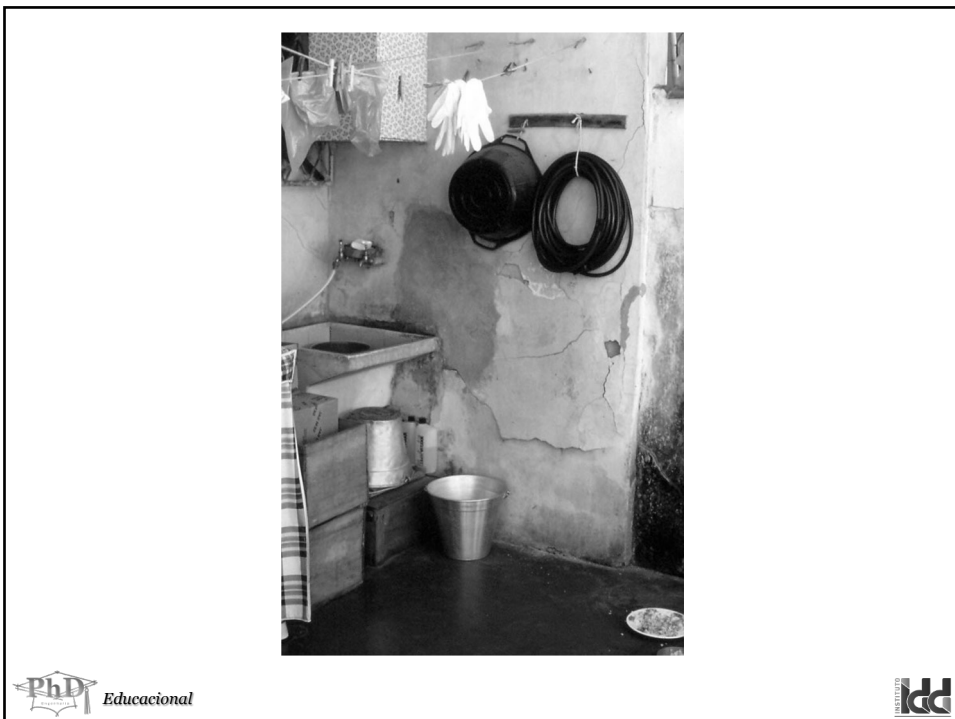
13



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*

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

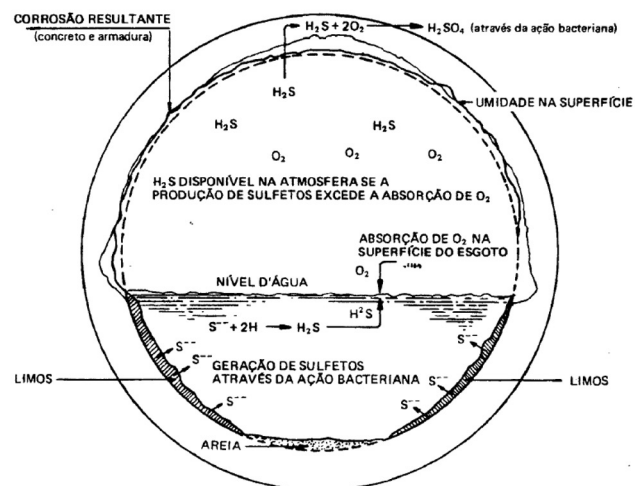
Ataque por Sulfatos externos

- 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)



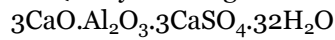
Ataque por Sulfatos internos

- 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



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.

DEF

- Retração térmica e por secagem restringida
- Cura a vapor por alta temperatura
- Carregamento severo durante o uso
- Distribuição de tensão excessiva e não-uniforme no concreto protendido



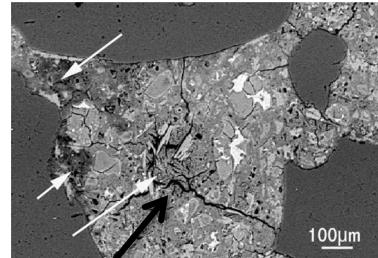
DEF - formação de etringita tardia

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

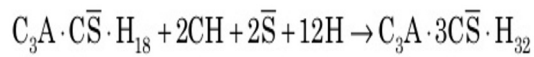
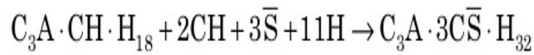
Fundamentos

- C₃A → 8% aluminatos de cálcio

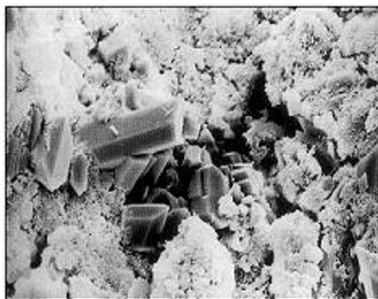
Quando em contato com íons sulfato após endurecimento



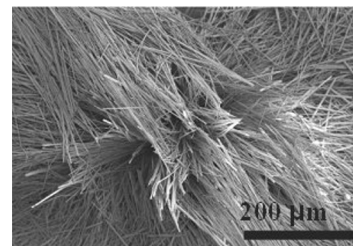
Etringita



Ataque por sulfatos – Formação Cristais Expansivos



Etringita
(tri sulfoaluminato de cálcio com 32 moléculas de água)



Efeitos em edificações

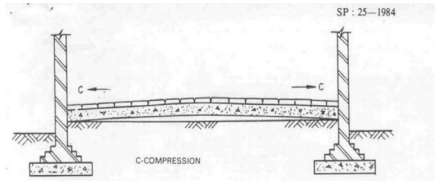


Fig. 39 Cracking and Upheaving of a Tile Floor Due to Sulphate Action in Base Concrete
C. D. R. AGGARWAL



Esgotos
Solos
Contaminados
Fábricas de Adubo
Processos
Industriais



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 $65^{\circ} C$

Referências Crítérios de Classificação

Concentração de sulfato > 3.000 mg/kg no solo
> 600 mg/l SO₄ 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

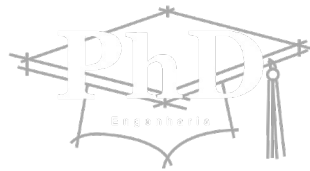
NBR 6118:2014 & NBR 12655:2015 “qualidade do cobrimento”

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.

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

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

11.2501.4822 / 23
119.5045.4940

