



Boas práticas na produção e controle tecnológico do concreto



Paulo Helene
 Diretor PhD Engenharia
 Conselheiro Permanente IBRACON
 Prof. Titular Universidade de São Paulo
 Gestor e Ex Presidente ALCONPAT Internacional
 Diretor Técnico do Instituto Brasileiro do Concreto
 Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design
 Conselheiro da CNTU e SEESP

Tambaqui

24 de setembro de 2019

Maceió/AL

1



Durabilidade das Estruturas de Concreto



Paulo Helene
 Diretor PhD Engenharia
 Conselheiro Permanente IBRACON
 Prof. Titular Universidade de São Paulo
 Gestor e Ex Presidente ALCONPAT Internacional
 Diretor Técnico do Instituto Brasileiro do Concreto
 Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design
 Conselheiro da CNTU e SEESP

2

AAR Reação Álcali Agregado

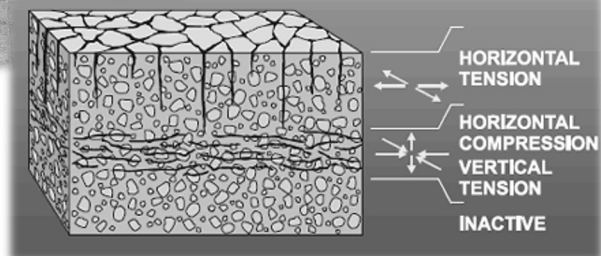
- ✓ Reações químicas entre os álcalis (sódio e potássio) presentes no cimento e os agregados de características reativas;
- ✓ geram produtos sílico-cálcico-alcálicos (gel expansivo ou cristais);
- ✓ causam fissuras, deslocamentos na estrutura e diminuem sua capacidade resistente.

3

Sintomatologia



Fissuração disseminada
(mapeamento)



4

Ponte Paulo Guerra

Recife PE → 2002

inaugurada 1980 22 anos

blocos de fundação $f_{ck} = 15 \text{ MPa}$

Tabuleiro de concreto armado

$f_{ck} = 22 \text{ MPa}$

sobre rio, junto ao mar, fora de respingos

5



6



7



8

IMPORTANTE

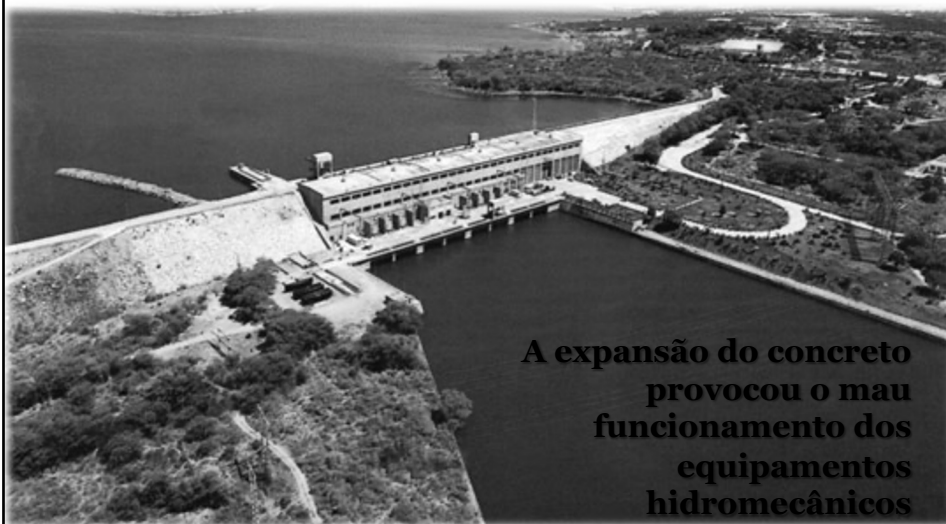
A maioria dos casos mais graves de AAR ocorrem em barragens. Entretanto, também há registros dessa manifestação em pontes, túneis, portos, ferrovias e fundações de edifícios.

No Brasil:

- Barragem de Moxotó
- Metro de São Paulo
- Barragem Joanes
- Barragem de Paulo Afonso
- Barragem de Sobradinho
 - Barragem da Pedra
 - Túneis da Ecovias
 - Rodovia AUTOBAN
- Ampliação da Barragem de Tucuruí
 - Fundações de varios edifícios
 - ETAs & ETEs
- Dormentes de estradas de ferro

9

Barragem Moxotó



**A expansão do concreto
provocou o mau
funcionamento dos
equipamentos
hidromecânicos**

<http://www.sbbengenharia.com.br/links/raa.php>

10

História

- ✓ Foi descoberta nos anos 30 na Califórnia EUA, por **Thomas Stanton**. *Expansion of concrete through the reaction between cement and aggregate. Proceedings ASCE, n. 66, 1940. p. 1781-1811*
- ✓ Na mesma época o *USA Bureu of Reclamation* registrou a reação nas barragens Parker Dam (Colorado) e Stewart Mountain Dam, especificando $\text{Na}_2\text{O} < 0,6\%$
- ✓ Os primeiros estudos foram realizados nos anos 60 → Barragem de Jupιά
- ✓ Primeiro caso: Barragem UHE Apolonio de Sales Oliveira (Moxotó)

11

História



Thomas Stanton, Caltrans - CA

12

Terapia

13

Terapia

- **Reduzir o acesso da água;**
 - **Injeção de resinas;**
 - **Confinar;**
 - **Prever juntas**

14



15



16



17

Profilaxia

18

Geral	Referencias	Status
Código : NBR15577-1		
Dados resumidos da Norma		
Código Secundário :		
Data de Publicação : 14/04/2008	Válida a partir de : 14/05/2008	
Título : Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto		
Título em Inglês : Aggregates - Alkali reactivity of aggregates - Part 1: Guide for the evaluation of potential reactivity of aggregates and preventive measures for its use in concrete		
ISBN : 978-85-07-00619-0		
Objetivo : Estabelece os requisitos para o uso de agregados em concreto, tendo em vista as medidas necessárias para evitar a ocorrência de reações expansivas deletérias devidas à reação álcali-agregado, e prescreve a amostragem e os métodos de ensaios necessários à verificação desses requisitos.		
Comitê Atual : ABNT/CB-18 - CIMENTO, CONCRETO E AGREGADOS		
Origem : Projeto 18:200.01-001/1:2007		
nº de Páginas : 11		
Organismo : ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas		
Preço(R\$) : 46,00 (Norma Impressa)		
46,00 (NormaNet - Norma Eletrônica impressão sob demanda)		

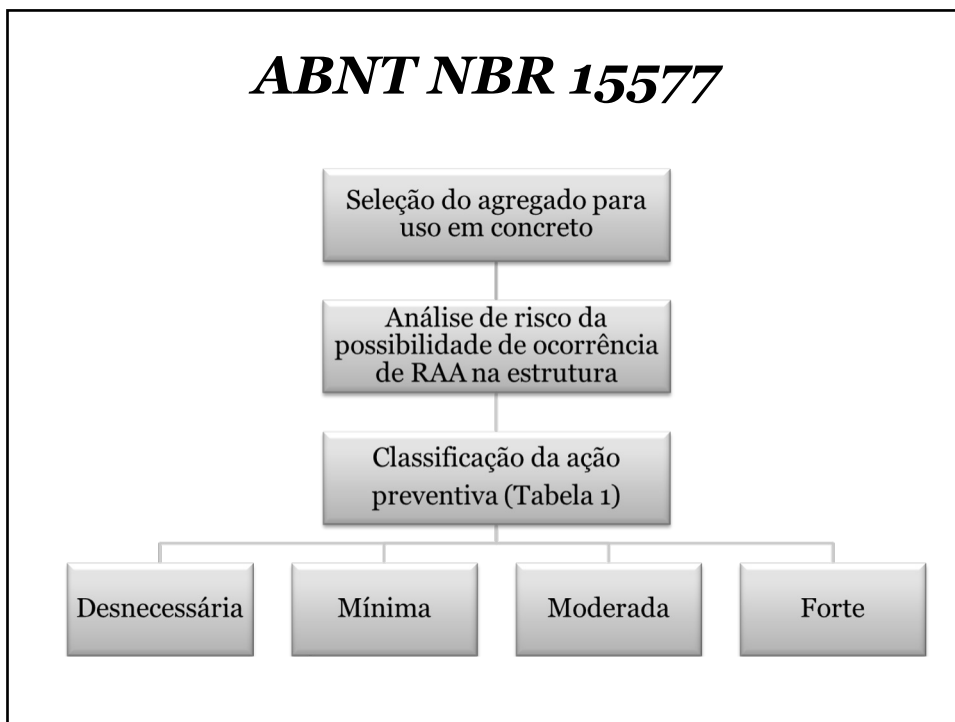
19

NBR 15577-1	Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto
NBR 15577-2	Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 2: Coleta, preparação e periodicidade de ensaios de amostras de agregados para concreto
NBR 15577-3	Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto

20

NBR 15577-4	Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado
NBR 15577-5	Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 5: Determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado
NBR 15577-6	Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 6: Determinação da expansão em prismas de concreto

21



22

Como prevenir?

1. Controlando álcalis no cimento;

Na₂O equivalente < 0,6%

Total álcalis < 3kg/m³

2. Controlando reatividade nos agregados

Método químico ASTM C 289 (24h)

Análise visual ASTM C 294 (24h)

Análise petrográfica ASTM C 295 (24h)

23

Como prevenir?

3. Controle da reatividade no concreto

Método de barras adição mineral ASTM C441 (6 meses)

Método das barras de argamassa ASTM C227 (6 meses)

Método carbonato → ASTM C586

Método álcali carbonato → ASTM C1105

Método acelerado das barras ASTM C1260 (16d e 28d)

Método dos prismas de concreto ASTM C1293 (1 ano)

24

Como prevenir?

4. Uso de adições

Método de barras adição mineral ASTM C 441 (6 meses)

Eficácia de adições ASTM C 1567

microsílica, metacaulim, cinzas volantes, escória

5. Impermeabilização

silicone, epóxi, poliuretano, cimento+latex, betume, drenar, etc.

25

Edifício Comercial

- 24 andares
- Idade: 1 ano
- estacas tipo raiz
- altas cargas nos blocos de fundação;
- $f_{ck} = 35$ MPa.

26

AAR?



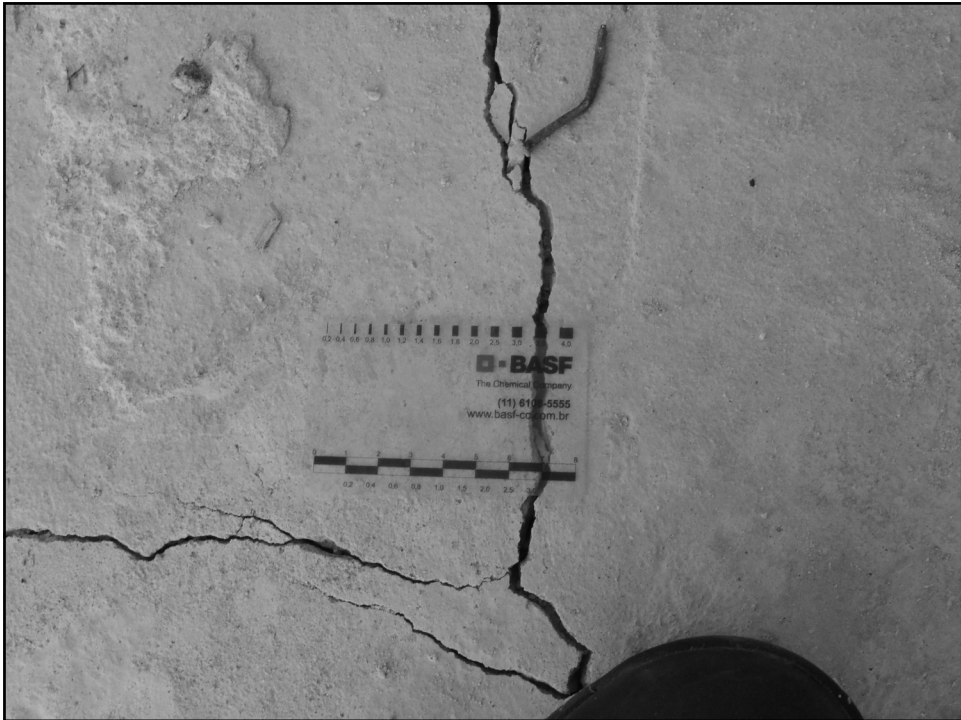
27



28

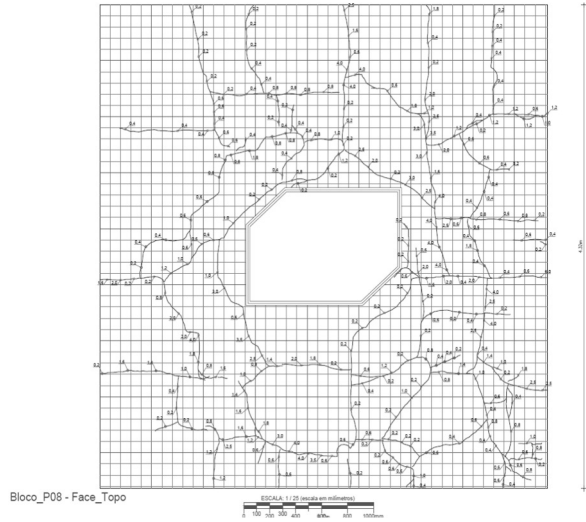


29



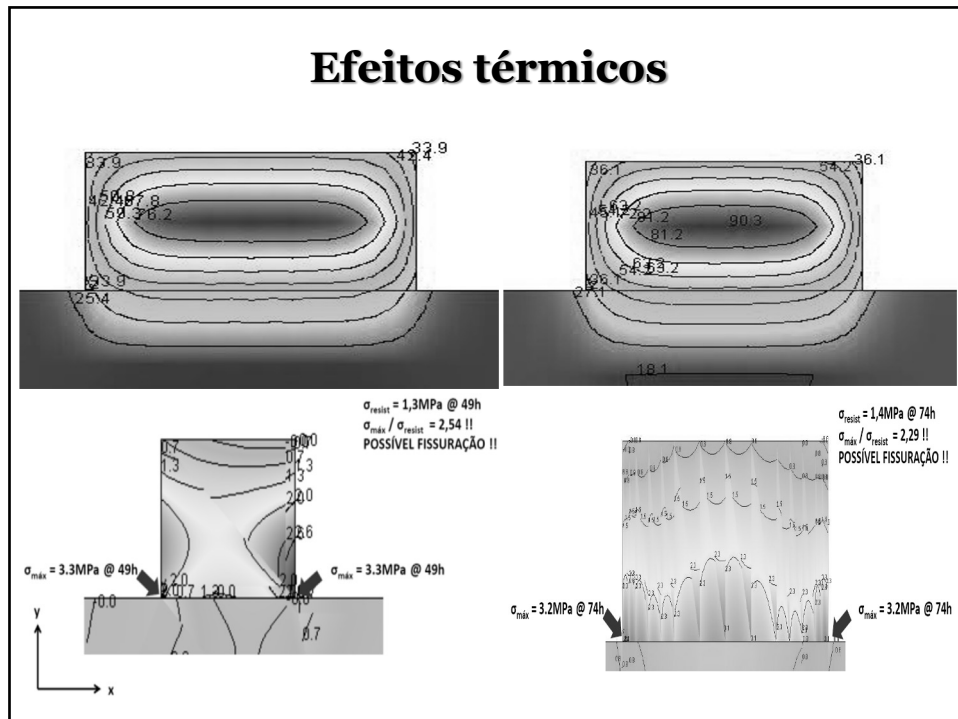
30

AAR?



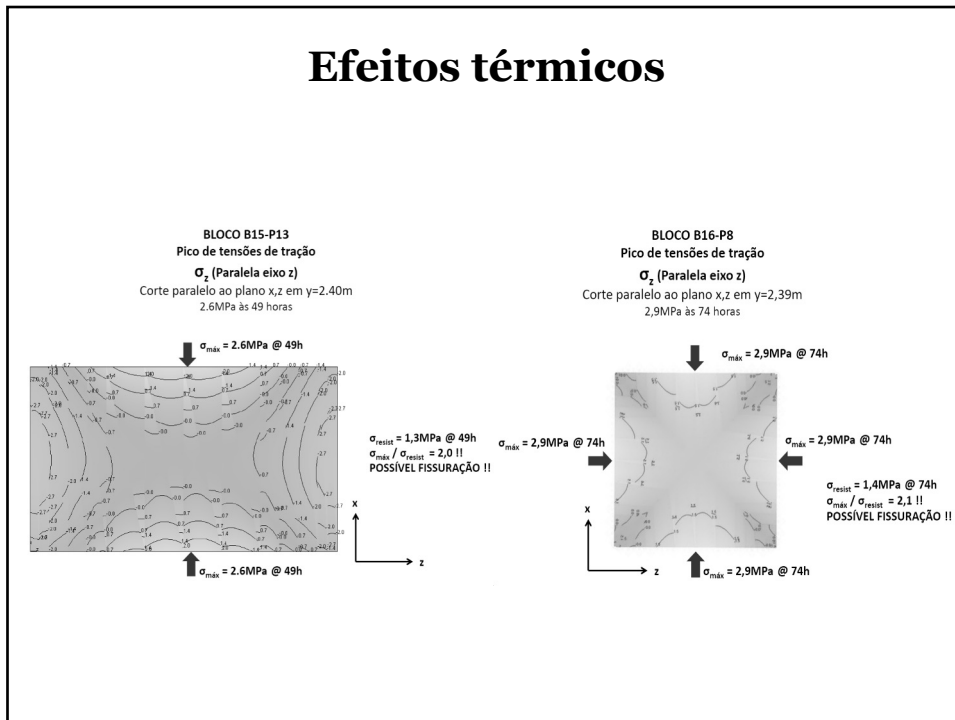
31

Efeitos térmicos



32

Efeitos térmicos



33

Solução

Injeção das fissuras e
reforço por confinamento
dos blocos de fundação

34



35



36



37



38




39



40




41



60°
CONGRESSO
BRASILEIRO
DO CONCRETO
FOZ DO IGUAÇU | 17 A 21 DE SETEMBRO - 2018

Produto do Comitê Técnico – CT 201

Guia de Prevenção da Reação Álcali-agregado



COMITÊ TÉCNICO - CT 201

A publicação em e-book e edição impressa será lançada no 60º Congresso Brasileiro do Concreto às 16 horas do dia 19 de setembro próximo, em Foz do Iguaçu (PR).


Essa atividade sucedeu uma contribuição anterior do CT-201, que ofereceu ao CB18 - Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados da ABNT sete textos-base, elaborados pelo mesmos especialistas e que deram os subsídios técnicos para as novas normas ABNT NBR 15577, partes 1 a 7, sobre RAA lançadas pela ABNT, em julho passado.


Está na agenda do CT-201 a elaboração de outra Prática Recomendada ligada ao tema, que abordará os diagnósticos da ocorrência de RAA em campo e em condições laboratoriais.

Lançamento:

Dia 19.9.18
Quarta – feira
16h
Stand do Ibracon

PATROCÍNIO





CTA - 19.09.2018

42

21



Reação com Sulfatos



Paulo Helene
*Diretor PhD Engenharia
Conselheiro Permanente IBRACON
Prof. Titular Universidade de São Paulo
Gestor e Ex Presidente ALCONPAT Internacional
Diretor Técnico do Instituto Brasileiro do Concreto
Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design
Conselheiro da CNTU e SEESP*

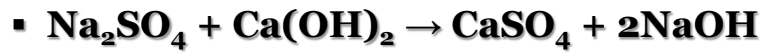
43

Reações expansivas

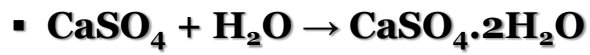
- ✓ **Álcali agregado: sílica reativa**
- ✓ **CaO e MgO cristalinos**
- ✓ **Sulfatos: gesso e “ettringita”**

44

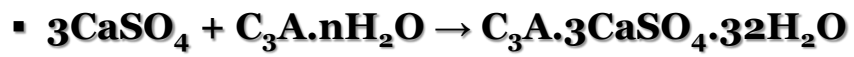
Ação de Sulfatos



Lixiviação



Expansão



74

150

715

Expansão

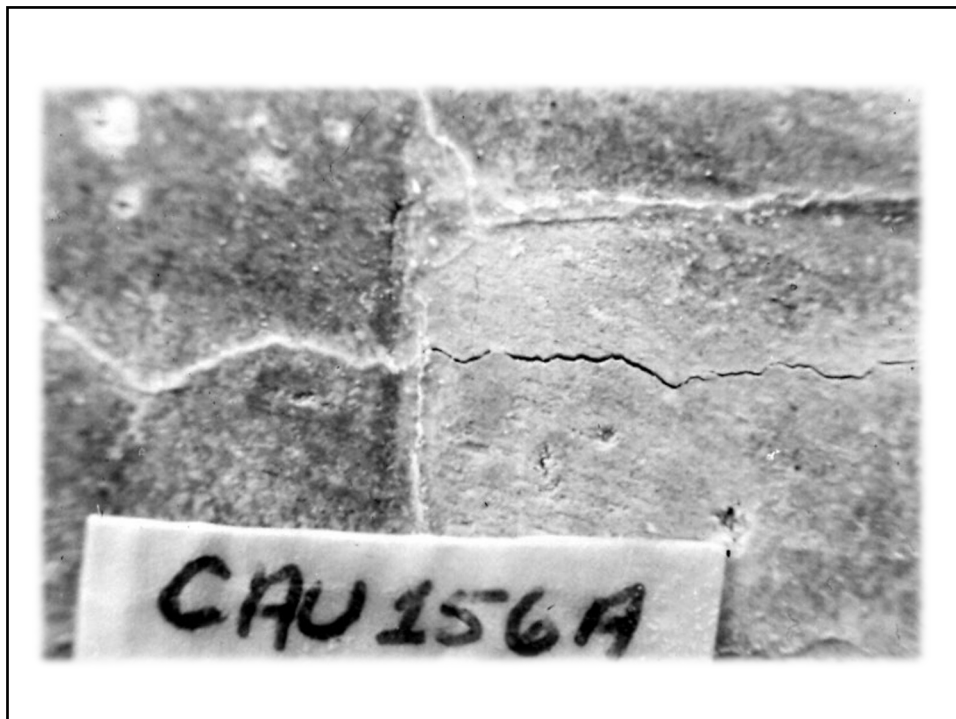
45



46



47



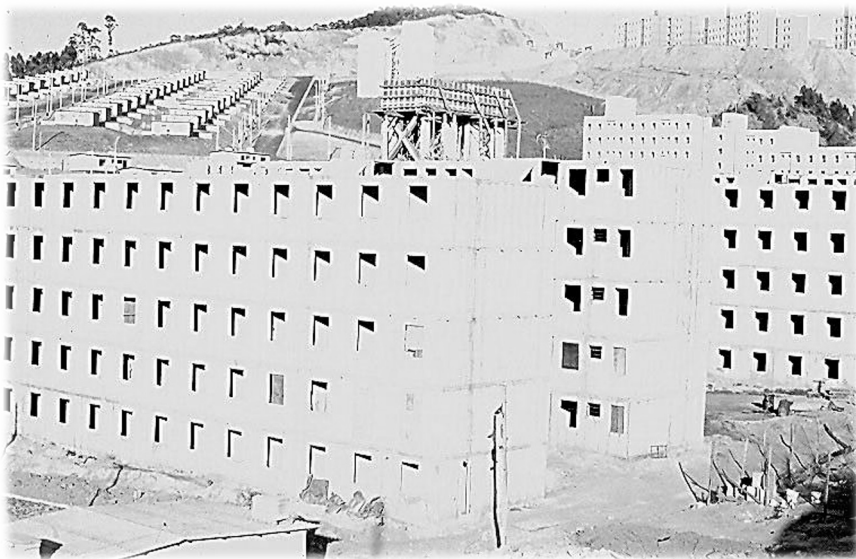
48

Processo Construtivo Cimento + Gesso → 1981



49

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



50



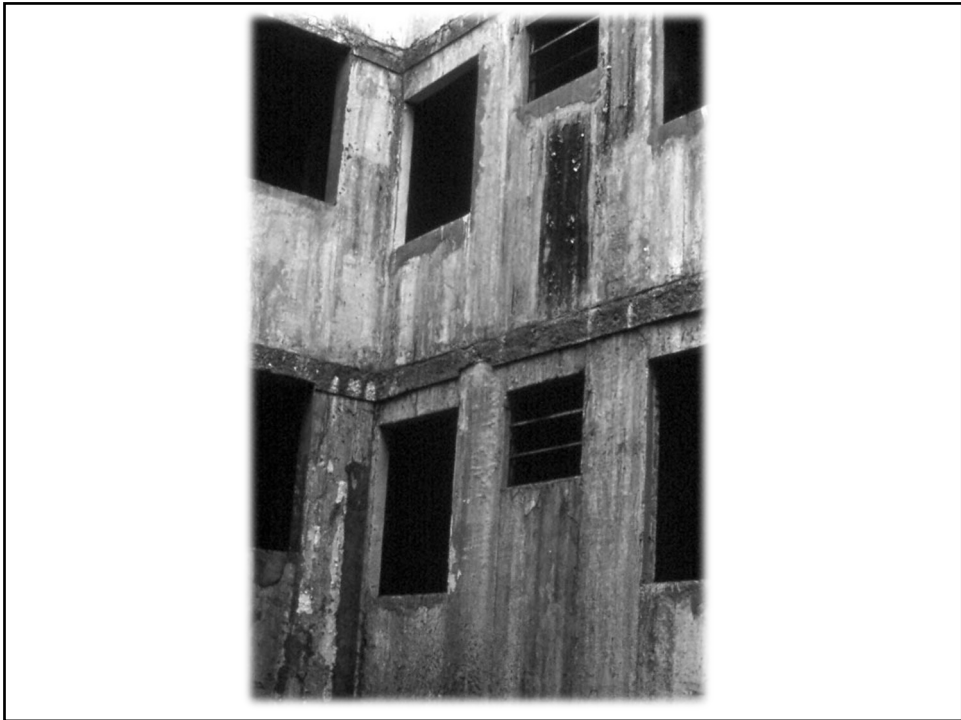
51



52



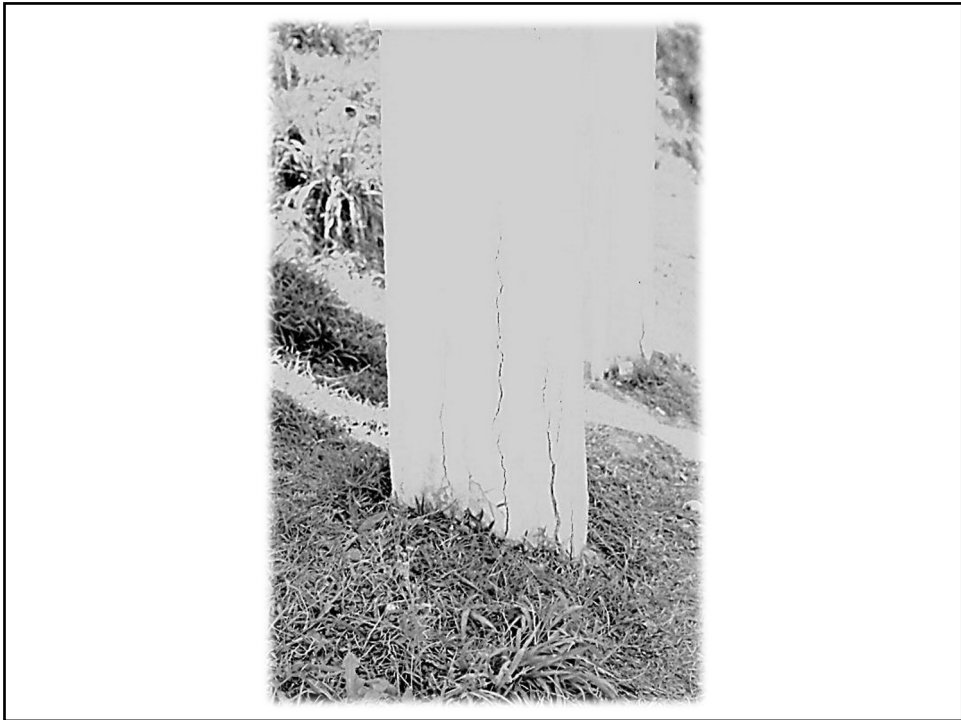
53



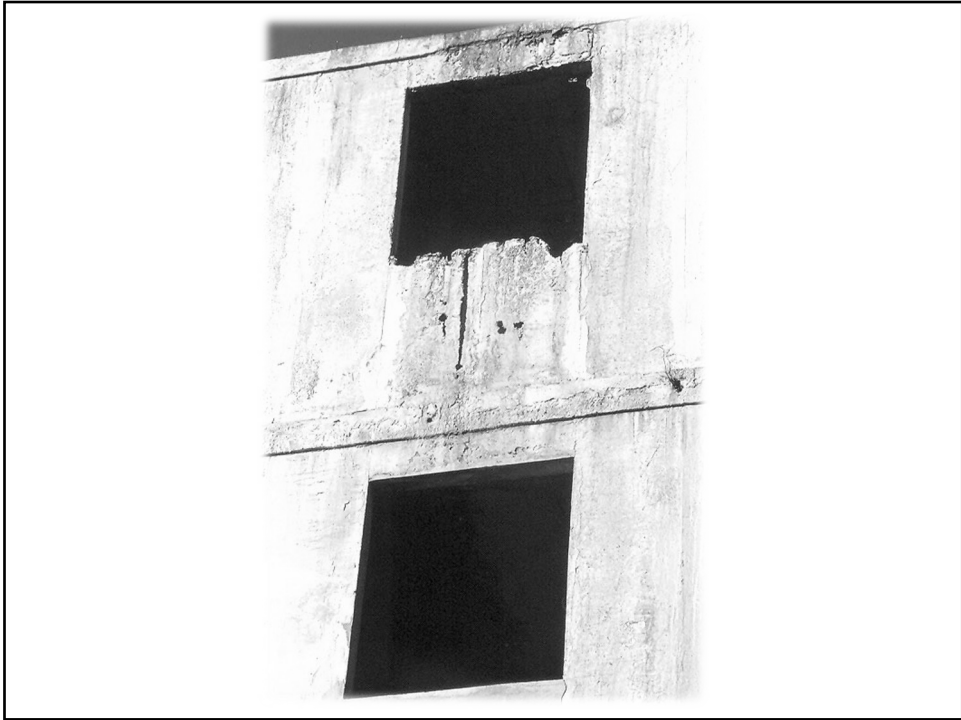
54



55



56



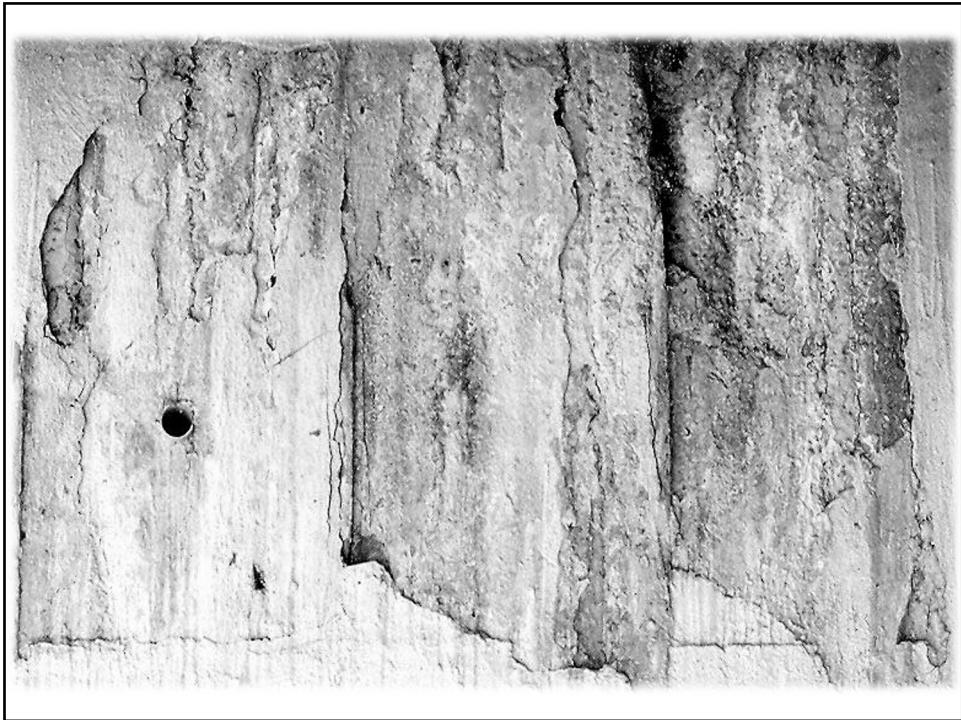
57



58



59



60

Vídeo em .MOV



61

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*

62

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

63

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;



64

Galerias de Esgoto Sulfatos externos



65

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)



66

Ataque por Sulfatos internos

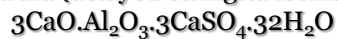
- Em alguns casos pode ocorrer uma reação deletéria entre os aluminatos do cimento com os **sulfatos internos provenientes de agregados, adições, ou mesmo reguladores de pega à base de sulfatos de cálcio (gipsita)**;
- Essa reação pode ser desencadeada pela temperatura, sempre que esta sobre passe os 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



67

DEF

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



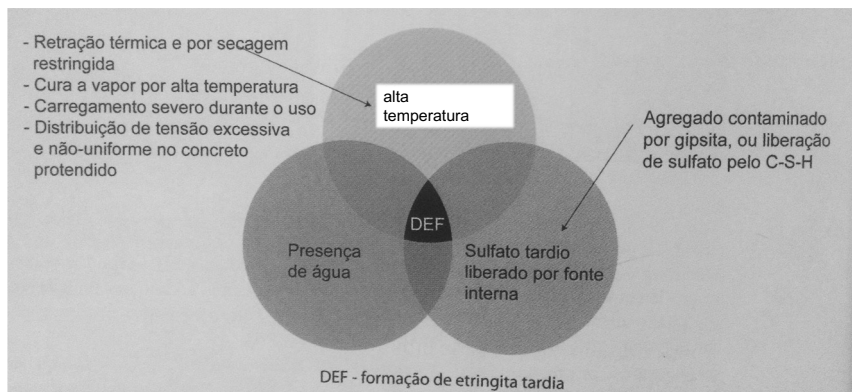
Etringita formada no concreto fresco, pode ser considerado um problema comum. Entretanto, a formação de etringita no concreto endurecido é prejudicial.

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.

68

DEF



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

69

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 $65^\circ C$

70

Referências Critérios 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

71

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

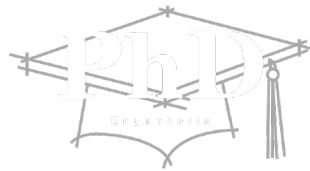
Tabela 4 Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos

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.*

72

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

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

11.2501.4822 / 23
11.9.5045-4940