

FISSURAÇÃO

BOLETIM TÉCNICO DA DISCIPLINA PATOLOGIAS DAS CONSTRUÇÕES/IFS

**APOSTILA PARA USO EM AULAS SOBRE O TEMA DEGRADAÇÃO DE
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

2017

PROPRIEDADE INTELECTUAL

SEM FINS COMERCIAIS e COM OBJETIVO APENAS DE MULTIPLICAR CONHECIMENTOS

- **FONTES DOS SLIDES:**

- **PROGRAMA NACIONAL DE REDUÇÃO DE RISCOS E AUMENTO DA VIDA ÚTIL DE ESTRUTURAS DE EDIFICAÇÕES – EDIFICAÇÃO + SEGURA – CURSO DE CAPACITAÇÃO DE INSPETORES DE ESTRUTURAS DE CONCRETO EM 2016**
PROMOÇÃO ABECE + ALCONPAT + IBRACON
COORDENAÇÃO NGI – NÚCLEO DE GESTÃO E INOVAÇÃO
- **MÓDULO 2 – Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho/UFRGS**
- **PATOLOGÍA DE LA EDIFICACIÓN – UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA, DAÑOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES HORIZONTALES - Prof. Jose M. Adam**
- **ESTRUTURA DE BETÃO SEGUNDO O EUROCÓDIGO 2, BASES DE CÁLCULO –UNIVERSIDADE DE AVEIRO – Prof. Paulo Barreto Cachim e Prof. Miguel Monteiro Moraes**
- **ABCP – CURSO DE RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

Definição

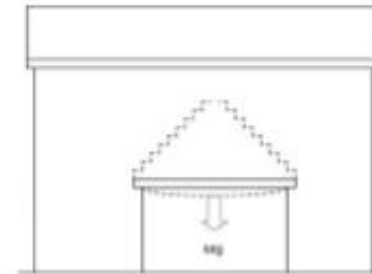
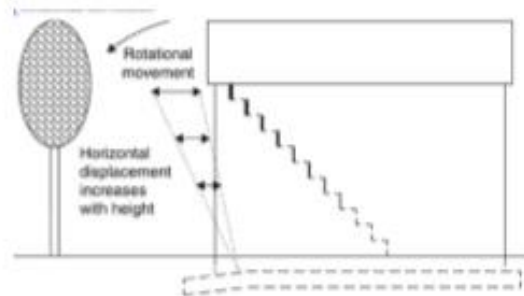
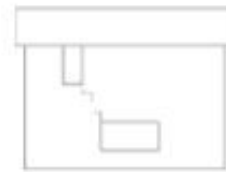
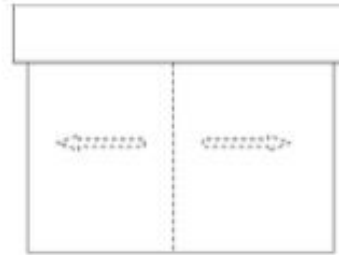
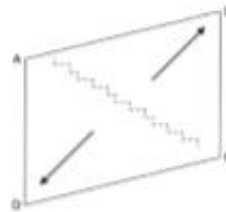
Separação completa ou parcial de um elemento de concreto em duas ou mais partes, causadas por fraturamento ou ruptura do material

- **FISSURA** - solução de continuidade estreita (pouca abertura) e pouco profunda que ocorre na superfície dos materiais frágeis devido a ação de causas externas, sem causar a divisão do material em partes isoladas. Normalmente se caracteriza pelos seguintes parâmetros:
 - **ABERTURA** (*a*) - maior dimensão da separação das partes que sofreram lesão
 - **EXTENSÃO** (*E*) - comprimento da lesão;
 - **PROFUNDIDADE** (*p*) - desenvolvimento da lesão no interior do material;



Origem

- Esforços de tração – podem ser resultado de ações e carregamentos dos mais diversos tipos



Consequências

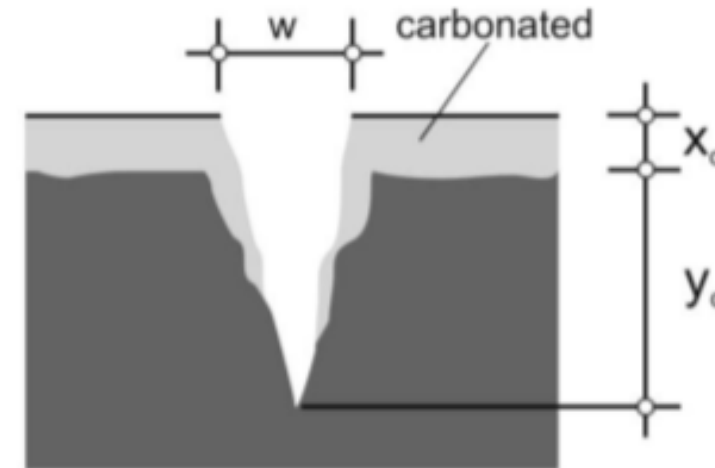
Efeitos estruturais

- perda de integridade e capacidade portante)



Efeitos na Durabilidade e Vida Útil

- Servem como “atalhos” para o ingresso de agentes agressivos
- Permitem a passagem de água
- Podem induzir ocorrência de outros mecanismos de deterioração, especialmente corrosão de armaduras



Fissuração

- Principal e mais frequente sintoma patológico
- Indicador de ocorrência de processos de degradação
- Fundamental no entendimento dos processos de deterioração atuantes
- **Sinal de alerta**

Conclusão: Fundamental atentar para o quadro fissuratório durante inspeções!!!!



Gibbs

FISSURAS – SINTOMAS DE ALERTA

- ESTRUTURAS AVISAM ANTES DE COLAPSAR, SALVO ESTRUTURAS PROTENDIDAS QUE ROMPEM ABRUPTAMENTE SEM MUITO TEMPO DE SAIR DEBAIXO.
- SINTOMAS NORMALMENTE ATRAVÉS FISSURAS E DEFORMAÇÕES.
- SINAIS DE ESTADO LIMITE DE RUPTURA, ESTADO LIMITE DE SERVIÇO OU ESTADO LIMITE DE DURABILIDADE.

CONCEITOS DE ESTADOS LIMITES

- **ESTADO LIMITE** é um estado a partir do qual se considera que a estrutura está prejudicada, total ou parcialmente, na sua capacidade de desempenhar suas funções.
- Na **VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA** em relação aos diferentes Estados Limites, devem ser consideradas as **COMBINAÇÕES das Ações** cuja atuação simultânea seja factível e que produzam na estrutura os efeitos mais desfavoráveis.
- Os ESTADOS são: **ELU + ELS + ESTADO LIMITE DE DURABILIDADE**

ESTADOS LIMITES

- **ELU** – são aqueles que se referem à segurança das pessoas e/ou a segurança da estrutura.
- **ELS** – são aqueles que se referem ao funcionamento da estrutura ou dos seus elementos estruturais, em condições normais de utilização, de conforto das pessoas ou no aspecto de construção, entendendo-se por aspecto construtivo critérios relacionados mais com deslocamentos e fissurações excessivas do que com a estética.
- **ELD - ESTADO LIMITE DE DURABILIDADE** – são aqueles que se referem aos aspectos da resistência à penetração dos agentes agressivos capazes de comprometer a vida útil em pleno desempenho da estrutura e/ou de seus elementos estruturais.

APECTOS NORMATIVAS DA NBR 6118/....

- **Norma Técnica** é um conjunto de pressupostos necessários para garantir a qualidade e a durabilidade das estruturas.
- **Norma Técnica** tem presunção de regularidade no judiciário, isto é: força de lei!
- O que se espera da **Revisão da NBR 6118/2014 ora em discussão?**
 - **Resposta: ELU + ELS + ELD** . Em suma, não somente resistências mecânicas, físicas e térmicas das nossas estruturas, mas também resistências químicas e eletroquímicas.

FISSURAÇÕES e ESTADOS LIMITES

- Em geral, nas estruturas de concreto armado um adequado dimensionamento em Estado Limite Último conduz a uma armadura suficiente para controlar a Fissuração. Entretanto, existem situações em que tal não acontece, devendo o projetista efetuar uma verificação explícita da abertura e espaçamentos das fissuras.
- As regras de dimensionamento no ELU podem, em certas situações, originar tensões excessivas no concreto, nas armaduras e levar a formação de fissuras e deformações de fluência excessivas no concreto, bem como deformações não elásticas nas armaduras. Após a fissuração, existirá uma redução significativa da rigidez do elemento e que esta redução de rigidez não é recuperável.

FISSURAÇÃO e ESTADOS LIMITES

continuação

- A **MICROFISSURAÇÃO** do concreto surge para níveis de cerca de 70% da tensão de ruptura à compressão. Apesar de não existir uma correlação evidente entre a formação dessas fissuras e a perda de durabilidade do concreto, o EuroCode 2 recomenda que, na ausência de medidas (como por exemplo, aumento do cobrimento de armaduras na zona de compressão ou o cintamento por meio de armadura transversal) se limite a tensão de compressão a $0,60 f_{ck}$, para combinações de ações características nas zonas expostas a ambientes agressivos.

FISSURAÇÃO e ESTADOS LIMITES

AUMENTO DAS DEFORMAÇÕES (ELS)

- A evolução tecnológica do concreto resultou:
- a) o aumento da resistência de aços e concretos levou a uma redução das seções quando dimensionadas no Estado Último;
- b) o aumento da Resistência do concreto não conduz a um aumento proporcional da Rigidez, pelo que, então, os elementos são mais flexíveis (ELS);
- c) as tensões em serviço no aço e no concreto são maiores;
- d) existe uma melhor compreensão do comportamento das estruturas e uma maior facilidade de análise face computadores;
- e) existe uma tendência à redução das espessuras das lajes, uma vez que representam cerca de 50% dos custos da estrutura e são, essencialmente, condicionadas pelas verificações em serviço;
- f) existe uma tendência de aumentar vãos para flexibilizar espaços.

FISSURAÇÃO e ESTADOS LIMITES

CONTROLE DAS DEFORMAÇÕES = CONTROLE DA FISSURAÇÃO

- Comparar valores esperados das deformações atuantes com os valores máximos permitidos. Normas apresentam valores máximos às situações correntes, mas, em cada caso, é necessário verificar se esses valores são adequados à estrutura em causa e respectiva utilização.
- As deformações excessivas devem ser evitadas, pois podem também ser causa de desconforto para os usuários.
- Para vãos de algumas dimensões (exemplo de vãos superiores a 8 ou 9m), a utilização da relação vão/altura para controlar a deformação pode não ser suficiente, uma vez que relações de vão/250 conduzem a flechas da ordem de 3 a 4 cm e que, conseqüentemente, são visíveis, pelo que muitos donos de obras e usuários poderão opor-se.
- Flechas inferiores a vão/250 em relação aos apoios não são, em geral, motivo de queixa de usuários.
- A limitação de flechas em termos de valor absoluto pode ser necessário, em vez da tradicional relação vão/altura, no caso de deformações que afetam paredes, divisórias, janelas, portas, etc.
- A deformação de vigas e lajes sobre paredes pode provocar o esmagamento da parte superior da parede, no caso de deformações do elemento superior ou fissuras, aproximadamente horizontal, no caso de deformações do elemento de suporte. Também a laje poderá ficar sujeita a momentos negativos devido parede funcionar como apoio, fissurando parte superior da laje.
- Vibrações em pavimentos de grandes vãos sujeitos a utilização coletiva devem ser controladas nas suas frequências, amplitudes ou o amortecimento como parâmetro de controle.

FISSURAÇÃO e ESTADOS LIMITES

REDUÇÃO DAS DAS DEFORMAÇÕES = REDUÇÃO DA FISSURAÇÃO

- O processo mais efetivo é o uso de valores baixos em relação vão/altura.
- O aumento da rigidez é muito eficaz, uma vez que a inércia é proporcional ao cubo da altura.
- Uso de armadura de compressão permite reduzir tensão no concreto comprimido e a profundidade da Linha Neutra.
- Sobredimensionar a armadura tracionada tem o efeito de reduzir tensão na armadura e, conseqüentemente, a extensão e abertura das fissuras, reduzindo a deformação.
- Utilizar concretos de elevada resistência (conseqüentemente, maior rigidez) com baixas relação a/c, boa cura e endurecimento adequado.
- O efeito combinado (altura, armaduras de compressão, classe de resistência do concreto e sobredimensionamento da armadura longitudinal) implicará na redução de flechas.
- Também reduzir a aplicação do momento de aplicação da carga, retardando-a o mais possível para esperar aumento da rigidez e resistência do concreto, exemplo da retirada precoce do escoramento.
- Aplicação de pré-tensão proporcionando efeito duplo benéfico: redução ou eliminação de fissuras e aplicação de uma contra-flecha.

FISSURAÇÃO e ESTADO LIMITE DE DURABILIDADE

- Reações expansivas nos concretos
- Gelo/Degelo
- Corrosão das armaduras
- Permeabilidade dos concretos e Lixiviações
- Ataque de sulfatos
- Erosão, abrasão e cavitação
- Ataques químicos outros.
- Efeitos catalisadores devido fissuras provocadas pelo ELU e ELS.
- Má qualidade da produção
- Falta de manutenção e/ou falta de manutenção competente.

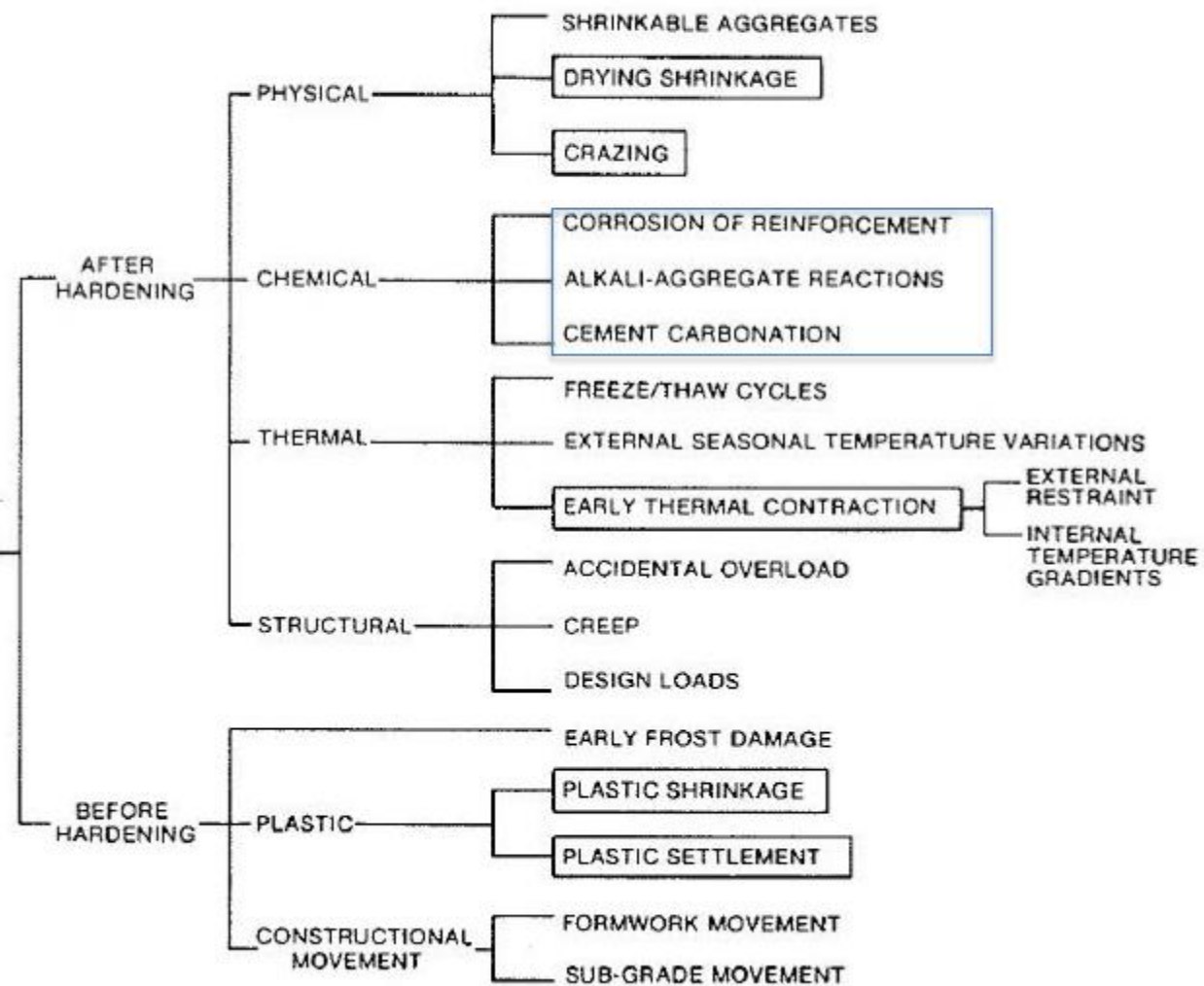
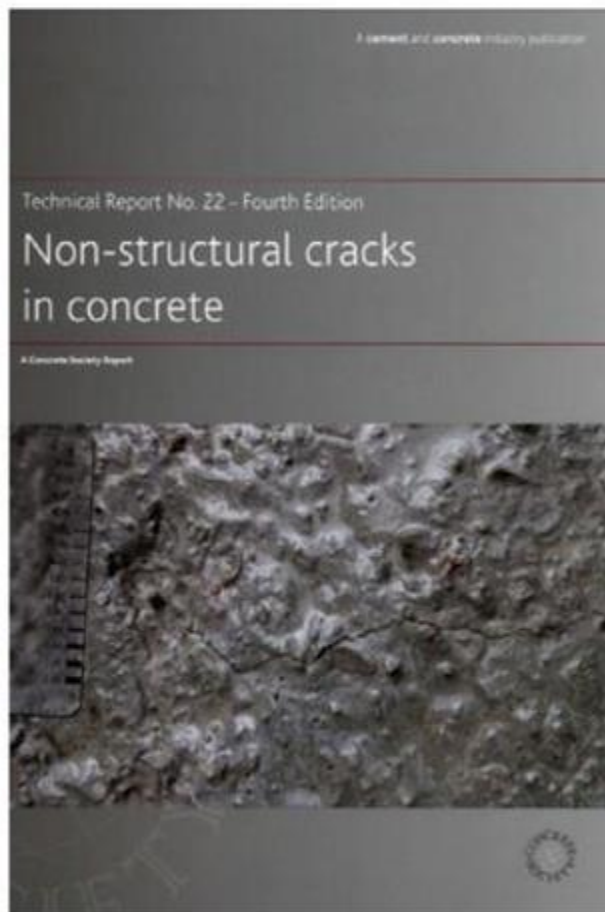
CLASSIFICAÇÃO USUAL DA FISSURAÇÃO

- 1. ANTES DO ENDURECIMENTO

- Plásticas (encolhimento plástico e autógeno, assentamento)
- Movimentações construtivas (das formas e do solo de apoio das formas)
- Danos de geada (congelamento prematuro)

- 2. APÓS O ENDURECIMENTO

- Instabilidade volumétrica (encolhimento na secagem, mudanças térmicas e deformações)
- Estrutura/projeto (sobrecarga, fundações, fadiga)
- Físico-Químicas (reações expansivas, corrosão das armaduras, ciclo de gelo/degelo)



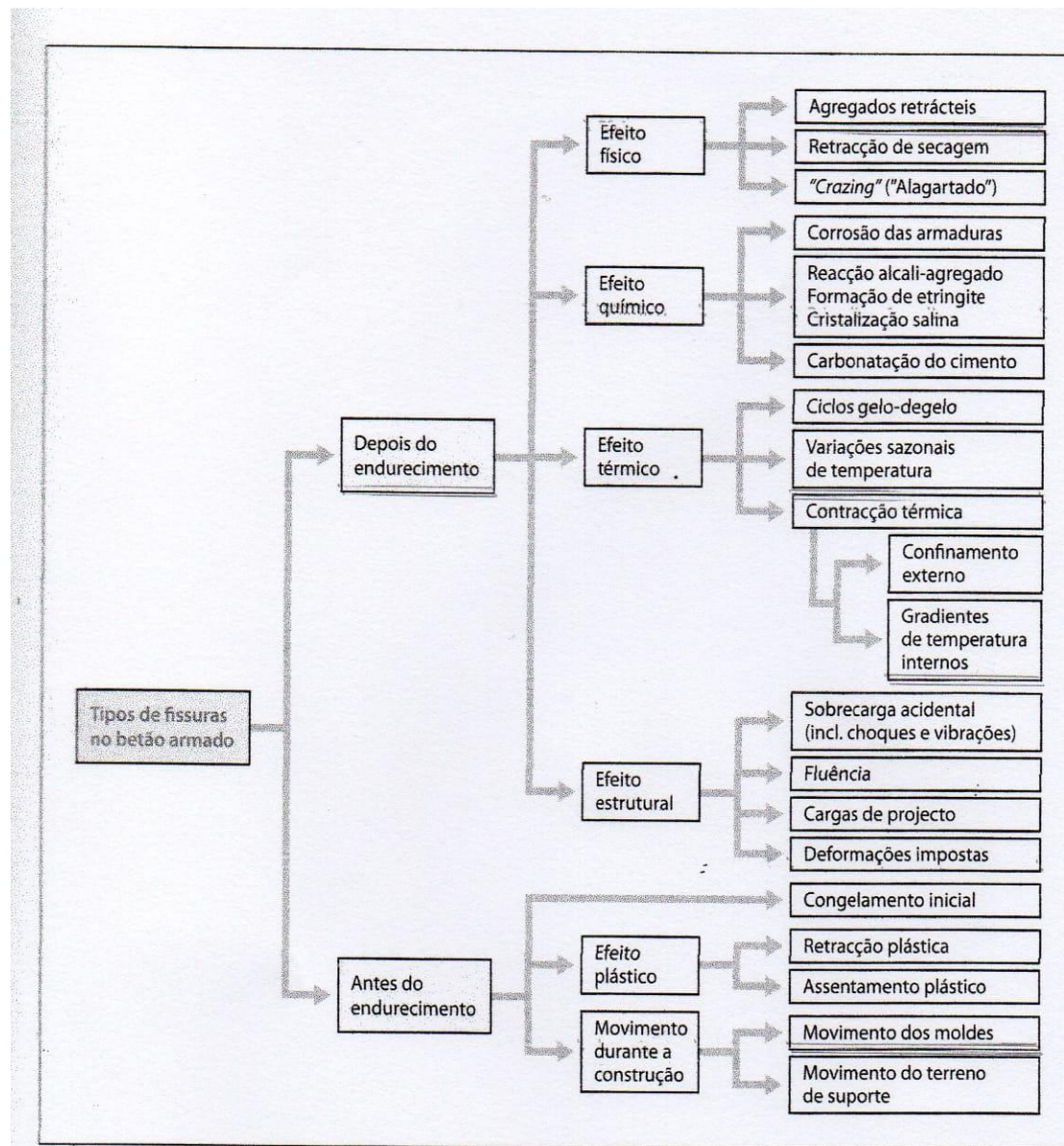


Figura III-4.13
As várias causas possíveis de fissuras no betão armado [18].

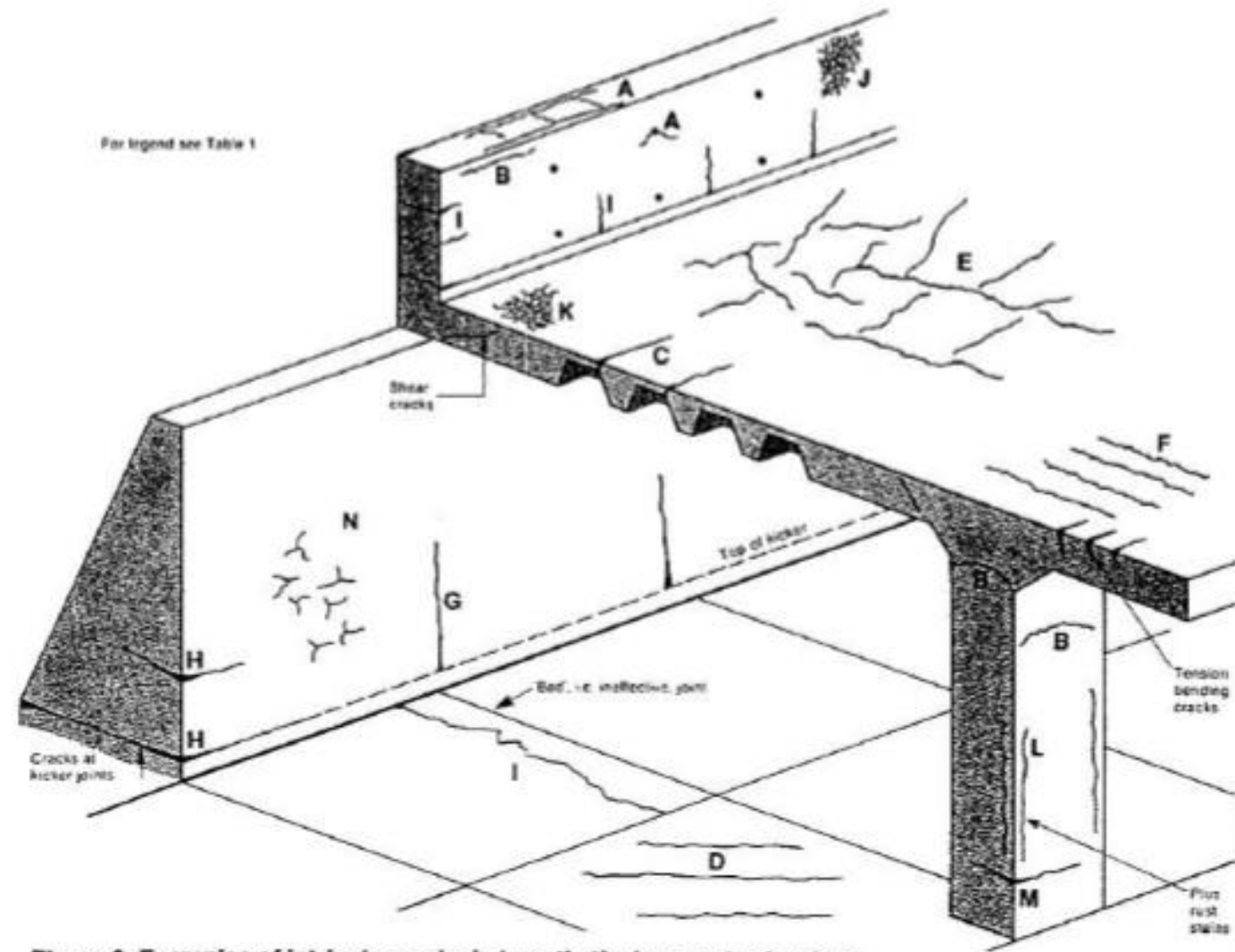
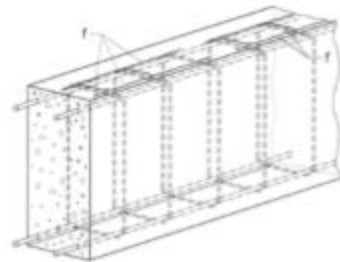
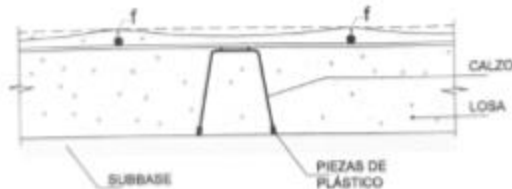


Figure 2: Examples of Intrinsic cracks in hypothetical concrete structure

1. PRIMEROS DÍAS DEL HORMIGÓN

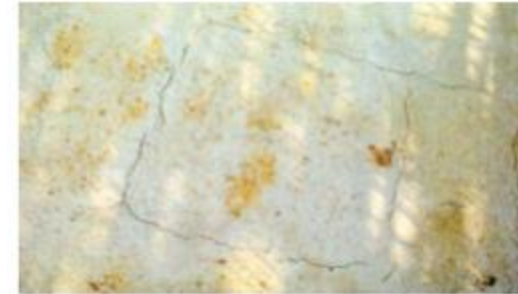
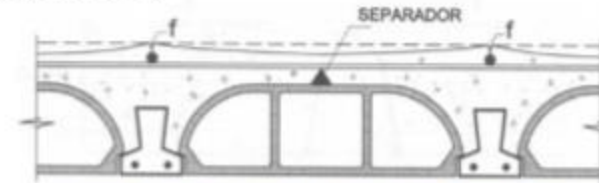
ASIENTO PLÁSTICO

- Debido a la exudación
- 3 primeras horas
- Fisuras amplias y poco profundas
- Nunca se puede evitar al 100%



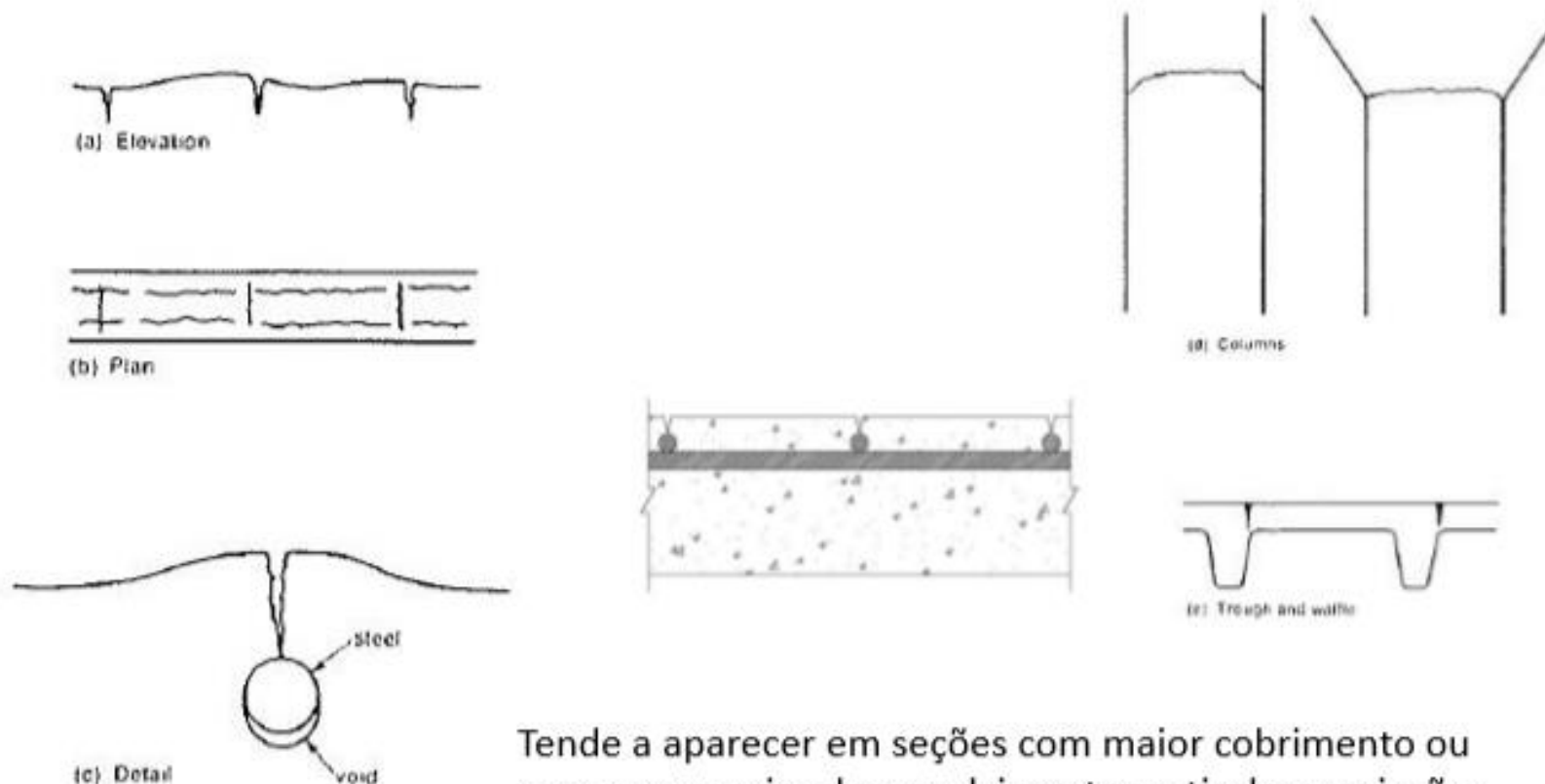
1. PRIMEROS DÍAS DEL HORMIGÓN

ASIENTO PLÁSTICO



Mecanismo de Formação de fissuras de assentamento plástico

Assentamento do concreto após lançamento



Tende a aparecer em seções com maior cobrimento ou peças com maior desenvolvimento vertical ou variações de seção

Características

Causa Primária: Bleeding (ascensão de água)

Causa Secundária: secagem rápida (vento, temperatura)

Solução: Reduzir bleeding, incorporar ar, revibrar

Tempo típico para aparecimento: 10min – 3h

	Hours	Days	Months	Years
Plastic Settlement	■			

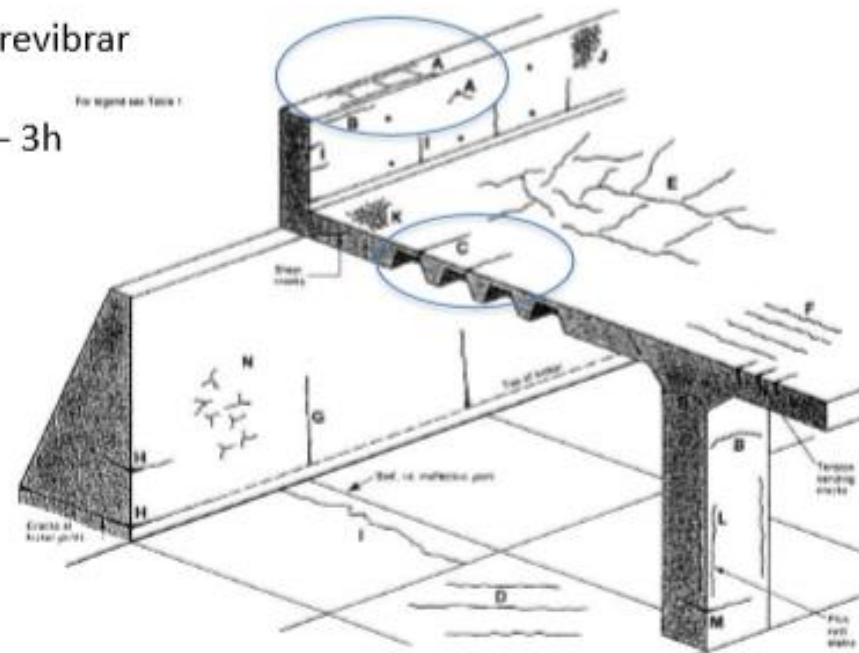


Figure 2: Examples of intrinsic cracks in hypothetical concrete structure

Prevenção

Concretos “Modernos”

- Redução água cimento
- Tixotropia
- Comportamento auto-adensável



Não tendem a apresentar assentamento plástico

Pode ser encontrada em edifícios/estruturas mais antigas – em alguns casos já associada com lixiviação ou com desenvolvimento de processo corrosivo

Tratamento

Em princípio PASSIVA – Mas
pode acabar se tornando
local onde são aliviadas
tensões térmicas



Selagem com material rígido ou
aplicação de revestimento protetor
para evitar ingresso de fluidos e
agentes agressivos

Módulo 6



**Manual de Reparo,
Proteção e Reforço de
Estruturas de Concreto**

Red Rehabilitar

degussa
creating excellence

BS 1504 – PROTECTION AND REPAIR OF CONCRETE STRUCTURES

Part	Title	Published	CE marking possible from
1	General Scope and Definitions	1998, revised 2005	N/A
2	Surface protection systems	October 2004	August 2005
3	Structural and non structural repair	February 2006	December 2006
4	Structural bonding	November 2004	September 2005
5	Concrete injection	December 2004	October 2005
6	Grouting to anchor reinforcement or to fill external voids	September 2006	July 2007
7	Reinforcement corrosion prevention	September 2006	July 2007
8	Quality control and evaluation of conformity	November 2004	N/A
9	General principles for the use of products and systems	1997, under revision	N/A
10	Application of products & systems and quality control of the works	December 2003	N/A

Table courtesy of Hywel Davies Consultancy 2006

www.cra.org.uk

RETRAÇÃO PLÁSTICA

Daños en elementos horizontales

PRIMOS DÍAS

DESARROLLO

EL SIGUIENTE

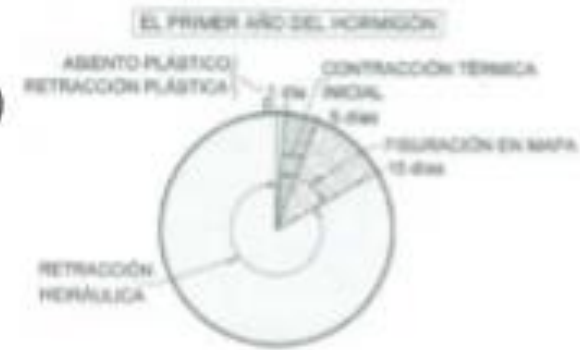
EL SIGUIENTE

EL SIGUIENTE

1. PRIMEROS DÍAS DEL HORMIGÓN

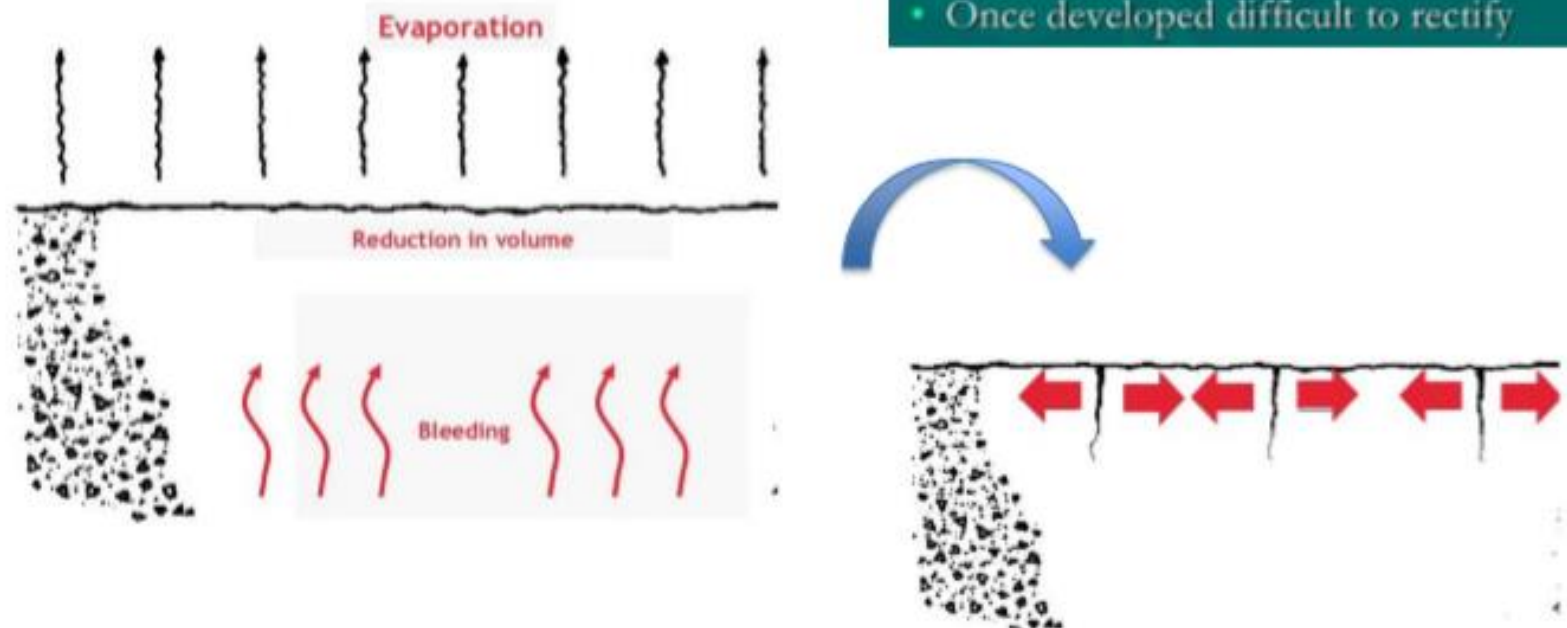
FISURACIÓN EN MAPA

- Fisuración superficial (profund. máx 1 cm)
- 1 y 15 días a partir del hormigonado
- Producida por gradientes de humedad
- Climas seco → tensiones superficiales

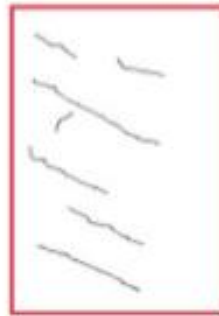


Mecanismo

Redução da camada superficial do material devido
à perda de água e/ou redução da temperatura

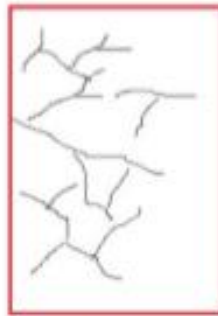


Manifestação



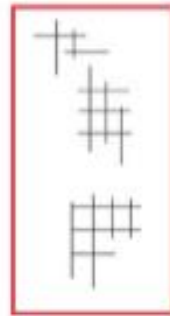
Orientada

*Lajes e
pavimentos
de concreto
simples ou
levemente
armado*



**Aleatória
(pele de jacaré)**

*Concreto
armado*



**Alinhada com
armadura**

*Concreto
armado com
baixo
cobrimento*



Tipologia variada de fissuras de Retração Plástica



Cuidado com diagnóstico das causas de quadros fissuratórios tipo “Pele de Jacaré”

No concreto pode ter várias causas

- Dessecação durante incêndio
- Retração por secagem
- Reações expansiva
 - álcali-agregado
 - Sulfato
 - etc

(tensões expansivas)



Solo

Redução do tamanho da camada superficial pela perda de água

Restrição camadas inferiores



Características

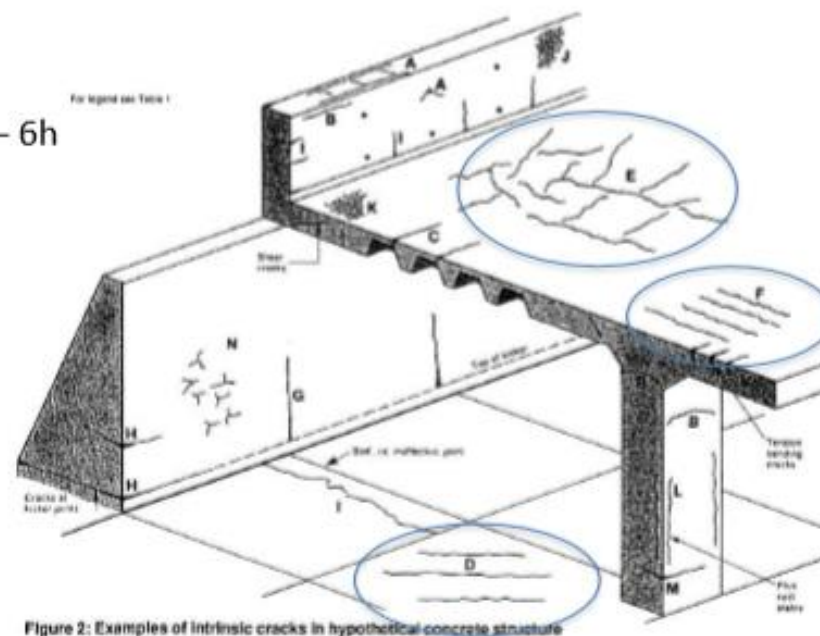
Causa Primária: Secagem e perda de temperatura rápida

Causa Secundária: Reduzida ascensão de água

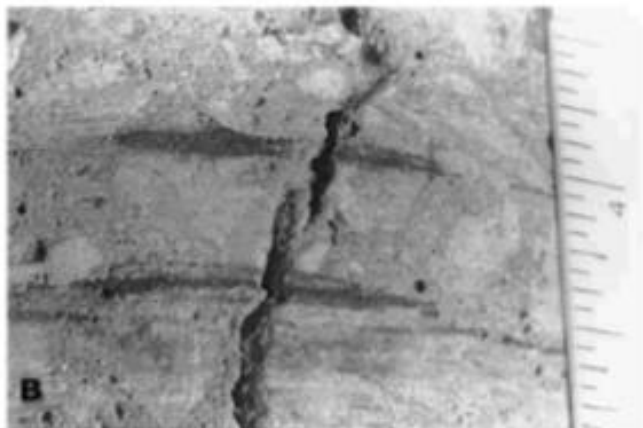
Solução: Cura inicial apropriada

Tempo típico para aparecimento: 30min – 6h

	Hours	Days	Months	Years
Plastic Shrinkage	■			

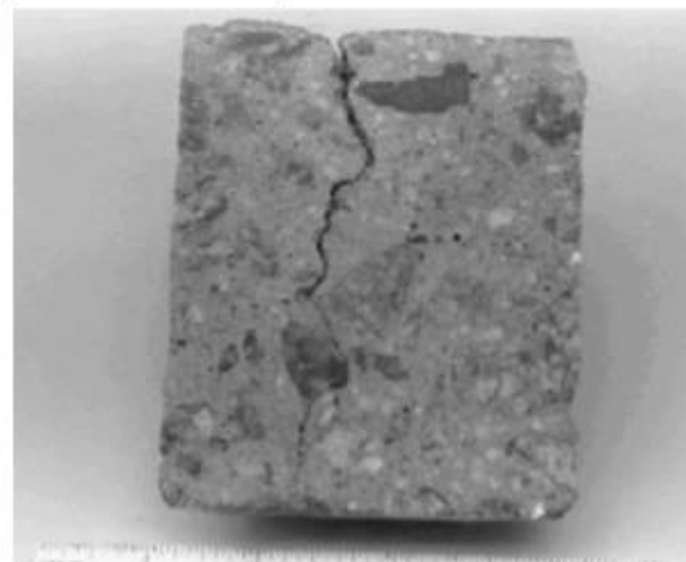


Identificação



Possibilidade de existência de pontes de contato formadas pela argamassa

Trajetória normalmente contorna agregados
(pasta com resistência reduzida nas primeiras idades)

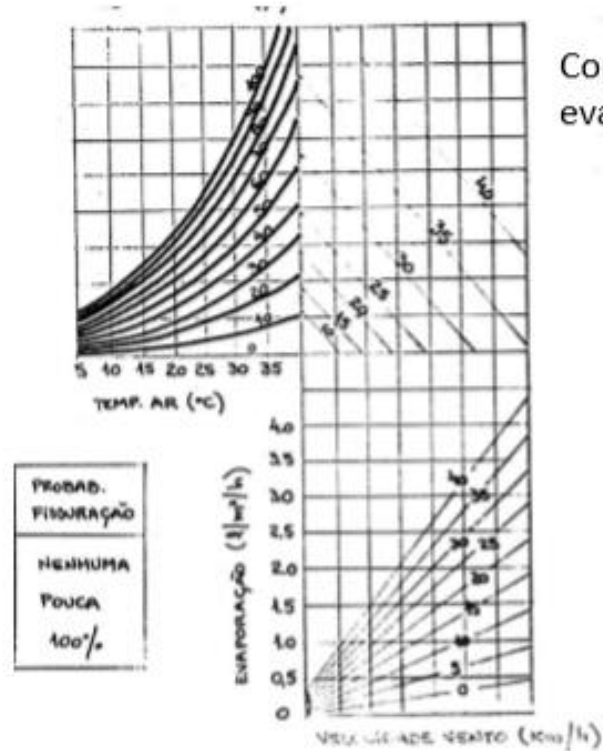


Prevenção



- Cura adequada com proteção superficial (redução perda de água e temperatura)
- Uso de fibras (polipropileno)
- Incorporação de ar (redução forças de tensão superficial)

Prevenção

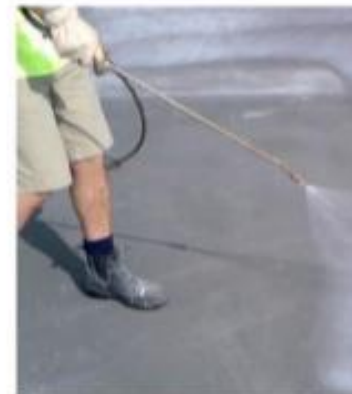


Controle da
evaporação



CURA

- resin-based / silicate based (too late / too slow)
- polythene sheet on light wooden frame



FISSURAS PRIMEIROS DIAS DURANTE ENDURECIMIENTO

Daños en elementos horizontales

PRIMEROS DIAS
PRIMEROS DIAS
PRIMEROS DIAS
PRIMEROS DIAS
PRIMEROS DIAS

1. PRIMEROS DÍAS DEL HORMIGÓN

CIMBRADO-ENCOFRADO



Daños en elementos horizontales

PRIMEROS DIAS
PRIMEROS DIAS
PRIMEROS DIAS
PRIMEROS DIAS
PRIMEROS DIAS

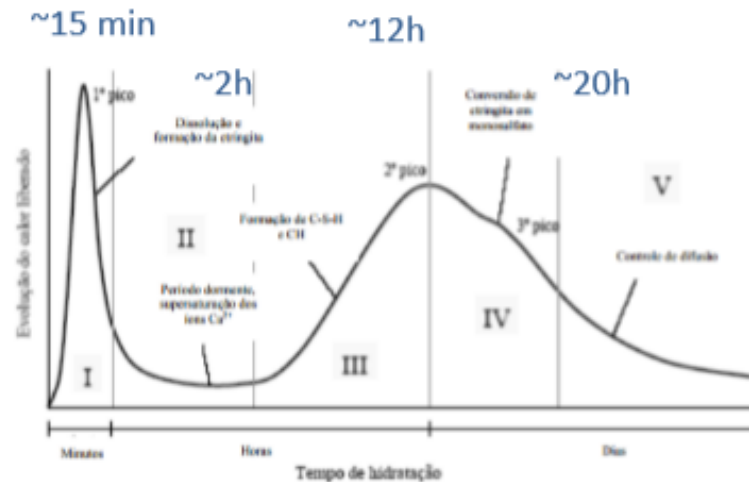
1. PRIMEROS DÍAS DEL HORMIGÓN

CIMBRADO-ENCOFRADO



FISSURAS NAS PRIMEIRAS IDADES DEVIDO AO DESENVOLVIMENTO DE TENSÕES DE ORÍGEN TÉRMICAS

Calor de Hidratação



Maior com maior conteúdo de C3S e C3A

Maior cimentos mais finos

Menor com presença de aglomerantes secundários e adições

Compostos	Calores de hidratação a uma dada idade (cal/g)		
	7 dias	28 dias	6 meses
C ₃ S	110	120	120
C ₂ S	20	45	60
C ₃ A	185	205	207
C ₄ AF	40	50	70

Battagin e Esper (1988)

Magnitude dos efeitos

- Early age issues
 - -13°C per $100\text{kg}/\text{m}^3$ of cement (CEM I)
 - $>50^{\circ}\text{C}$ for typical structures
 - Unrestrained early age contractions $\sim 300\mu\epsilon$

Cement type	Cementitious content (kg/m^3)	Temperature rise ($^{\circ}\text{C}$)
CEM I	340	31
30% fly ash	365	20
50% ggbs	355	21
70% ggbs	410	18

Diferenciais de Temperatura

B. Klemczak, A. Knoppik-Wróbel

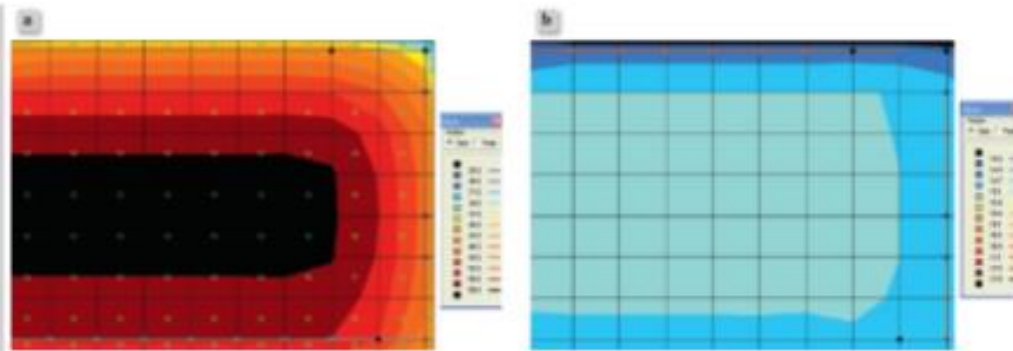


Figure 2.

a) Exemplary temperature distribution: XZ=0, 6.5 day of curing, b) Exemplary moisture distribution (x100): XZ=0, 6.5 day of curing

$\Delta T \rightarrow$ Tensões de tração



Fissuras

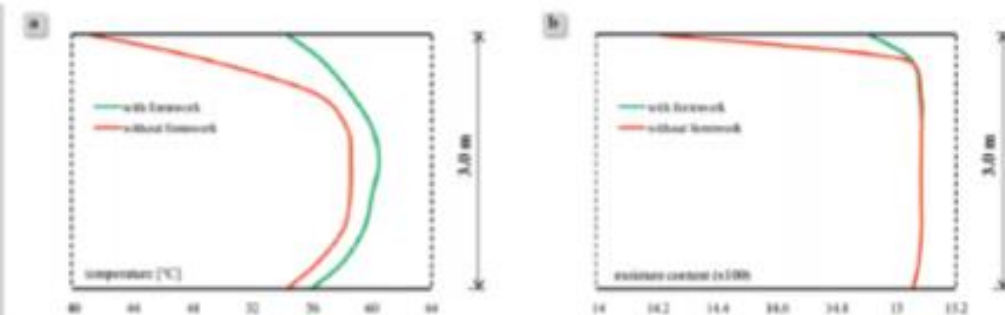


Figure 3.

Exemplary diagram of temperature and moisture distribution at the thickness of the slab

Tensões térmicas vs Resistência à Tração do Concreto

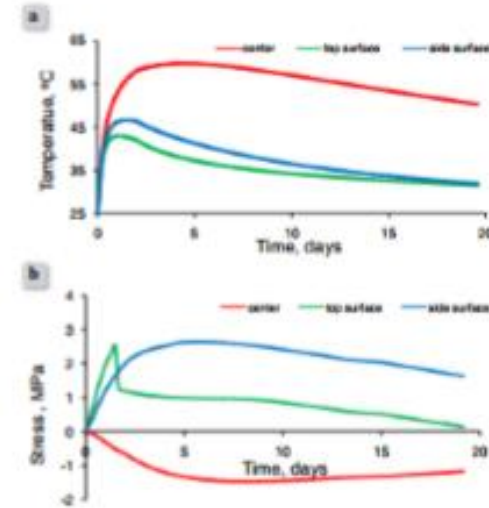
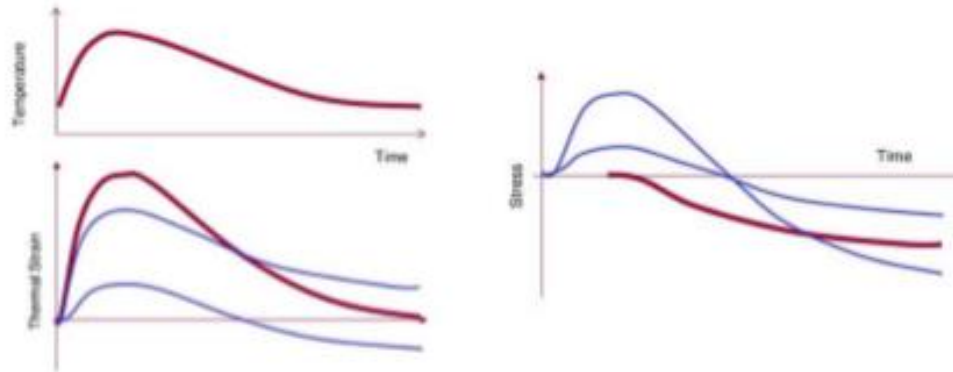
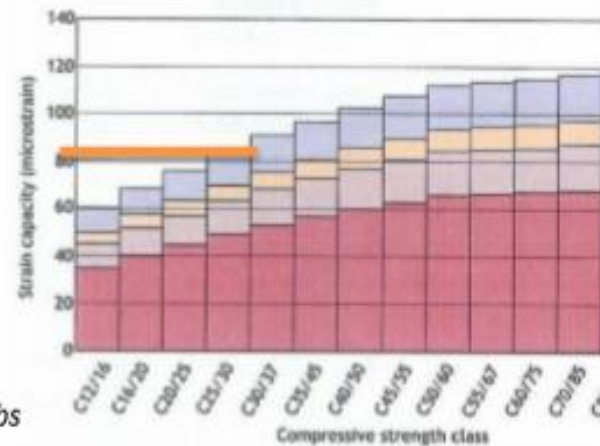


Figure 4.
Exemplary temperature and stresses development in massive
foundation slab



Gibbs

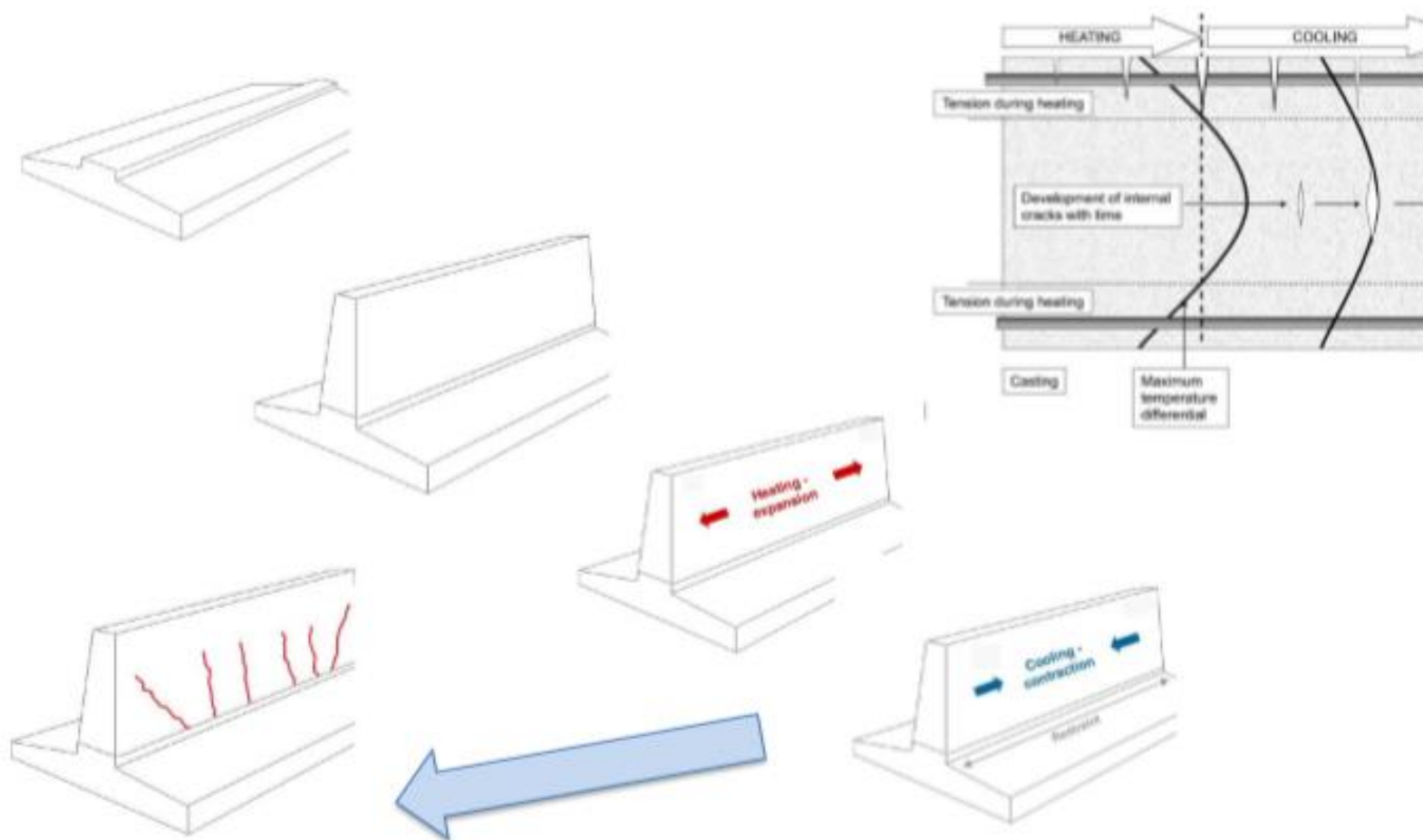
Capacidade de deformação à tração do
concreto

~ 80-100 $\mu\epsilon$ (microdeformações)

Referências



Efeitos aquecimento e resfriamento na fissuração



Características

Causa Primária: Gradientes de temperatura / Elevado calor de hidratação

Causa Secundária: Perda rápida de temperatura superficial

Solução: Reduzir calor de hidratação e proteger concreto nas primeiras idades

Tempo típico para aparecimento: 1 dia – 14 dias

	Hours	Days	Months	Years
Plastic Shrinkage	■			
Plastic Settlement	■			
Early thermal		■		

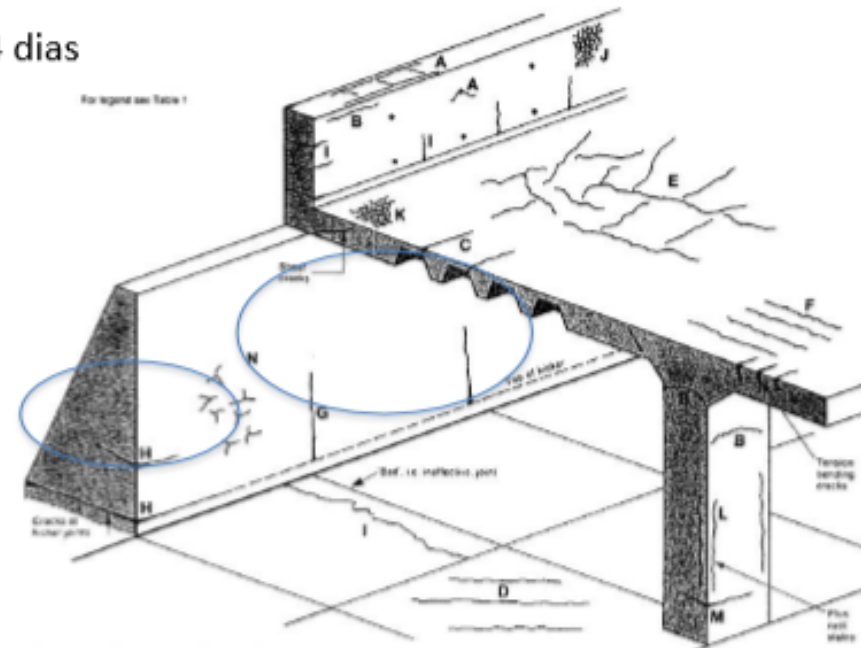


Figure 2: Examples of intrinsic cracks in hypothetical concrete structure

Efeito em Edificações - Fundações



O que se percebe nos dias atuais é que em grande parte das fundações com volumes avantajados estão sendo executadas concretagens de forma equivocada, adotando-se as mesmas técnicas dedicadas a uma fundação convencional, o que é um grande erro.

O efeito das tensões geradas pelo calor exalado durante e após a concretagem pode provocar preocupantes fissuras capazes de seccionar uma sapata

(Sérgio Botassi dos Santos)

Efeito em edificações: paredes diafragma e elementos de grande volume



Consequências



- Pode favorecer acesso de umidade e ingresso de agentes agressivos
- Pode desencadear/facilitar/acelerar outros mecanismos de degradação
 - Ataque por sulfatos
 - RAA
 - Corrosão de armaduras

Fundações:

LOCAIS DE DIFÍCIL ACESSO PARA INSPEÇÃO
AUSÊNCIA DE JANELAS DE INSPEÇÃO
ALTA RESPONSABILIDADE ESTRUTURAL

Fatores Influentes

- Dimensões elemento
- Tipo de aglomerante
- Traço
- Temperatura ambiente
- Temperatura forma e tubulações
- Temperatura agregados e cimento
- Temperatura concreto
- Isolamento formas

-
- Aggregate type
(7-14 $\mu\epsilon$ / °C)
 - Tensile strain capacity
(may be less with slag and fly ash)
 - External restraint
(previous pours)
 - Internal restraint
(temp. profiles in large members)
 - Stress raisers
(changes in section)
 - Reinforcement
(controls, but does not eliminate)
-

Efeito Tipo de Cimento

Tabela 2.3 – Calor de hidratação de cimento existentes no Brasil (banco de dados do laboratório de Furnas)

Tipo de cimento	Calor de hidratação (J/g)	
	Idade (dias)	
	3	7
CP I	266 – 303	280 – 314
CP II – F	185 – 252	239 – 276
CP II – E	241	258
CP II – Z	211 – 236	214 – 250
CP III	199 – 224	216 – 257
CP IV	207 – 235	212 – 258
CP V – ARI	222 – 281	229 – 332

Liduário, 2006

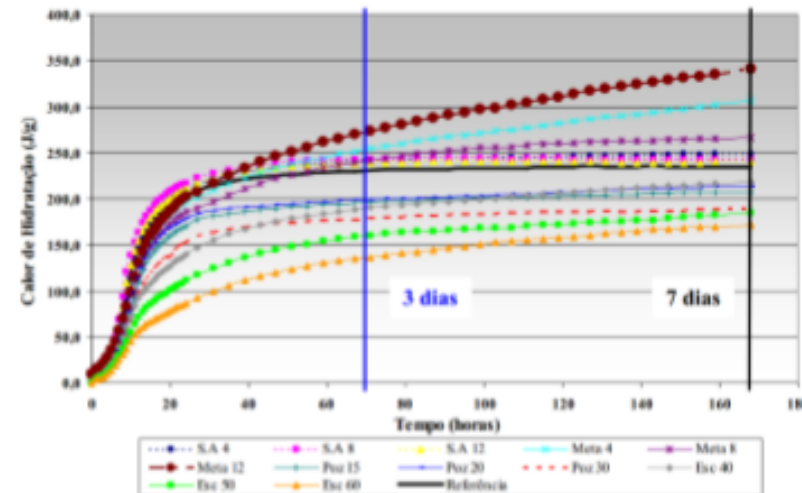


Figura 6.1 – Curvas de calor de hidratação

Efeito Tipo de Agregado



Example limiting temperature

Assumes

f_{ck} C30/37

$K_1 = 0.65$

$\epsilon_{ca} = 5\mu\epsilon$

Aggregate type	Gravel	Granite	Limest
Thermal expansion coefficient ($\mu\epsilon/^{\circ}\text{C}$)	13	10	9
Tensile strain capacity ($\mu\epsilon$) under sustained loading	65	75	85
Limiting temperature change in $^{\circ}\text{C}$ for different external restraint factors:			
1.00	6	9	12
0.80	8	12	16
0.70	9	14	18
0.60	11	17	22
0.50	14	21	27
0.40	18	27	34
0.30	24	36	46
Limiting temperature differential ($^{\circ}\text{C}$) for internal restraint $R = 0.42$	20	28	31

Efeito Tipo de Agregado

195

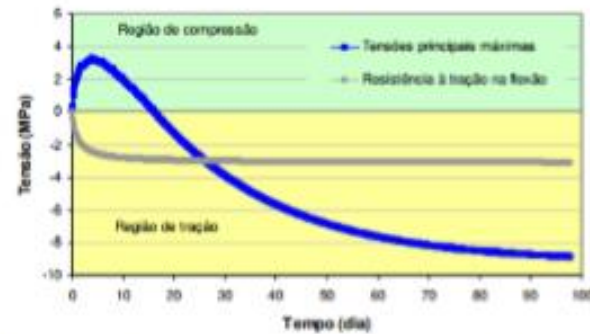


Figura 135: Concreto de referência (CC): Evolução das tensões de origem térmica x resistência à tração do concreto (Elemento 427).



Figura 136: Concreto com partículas de pneu na forma de fibras (CF): Evolução das tensões de origem térmica x resistência à tração do concreto (Elemento 427).

Albéria Albuquerque, 2009
Estudo das propriedades de concreto
massa com adição de partículas de
borracha de pneu

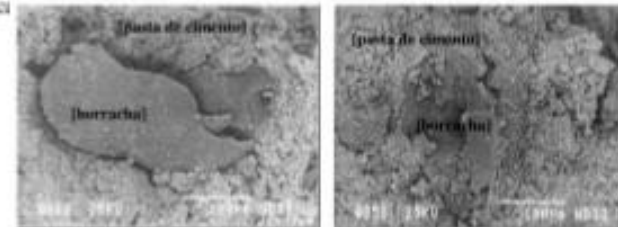


Figura 25: Interface pasta de cimento (a) com a partícula de borracha sem tratamento (b) com a borracha tratada com NaOH (SEGRE, 1999).

Prevenção



- **ajuste do traço do concreto** (visando reduzir calor de hidratação)
*substituição parcial do cimento por adições minerais,
uso de agregado com menor módulo de elasticidade,
utilização de aditivos superplastificantes para aumento da eficiência do concreto, com redução do consumo de cimento*
- **definição de estratégia de lançamento adequada** (visando reduzir diferencial térmico)
*Concretagem em camadas (atentando para espessura, intervalo e temperatura de lançamento);
Controle de horário para início e fim das concretagens;
Uso de fôrmas com propriedades isolantes;
Emprego de cura que dificulte a perda de calor após a hidratação do cimento*
- **Resfriamento pré ou pós-concretagem**
(visando reduzir temperatura concreto)
*mistura de água resfriada ou gelo em escamas no concreto fresco;
circulação de água em serpentinas internas ao concreto depois de lançamento*



CIRIA C660

Design procedure

- **Temperature**
differentials
- Internal / external
restraint
- **Tensile strain** capacity
- Area of **reinforcement**
- **Crack** spacing
- **Crack** width

RETRAÇÃO RESTRINGIDA – ESTADO ENDURECIDO

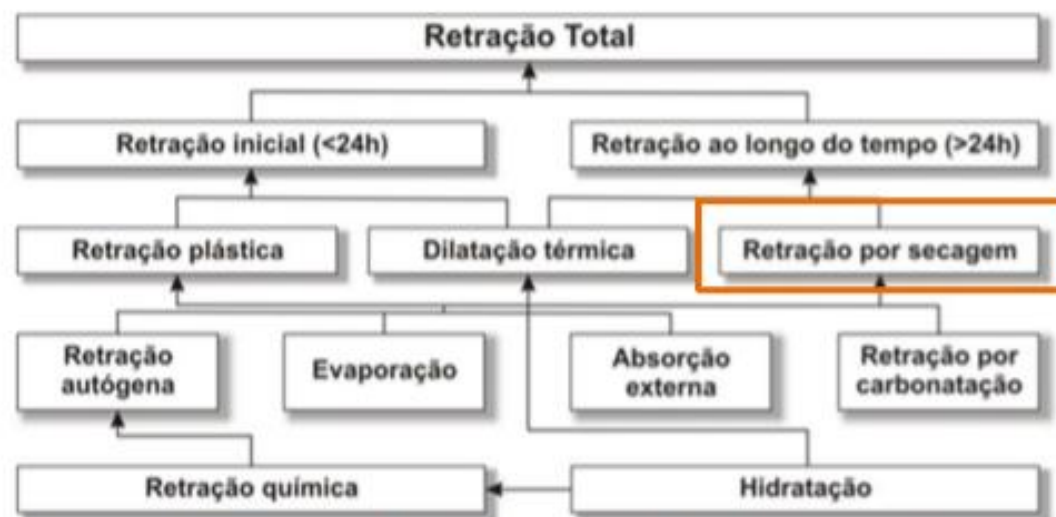


Figura 1 - Esquema dos mecanismos que governam os tipos de retração incidentes sobre o concreto (adaptado de ESPING, 2007).

Retração por secagem

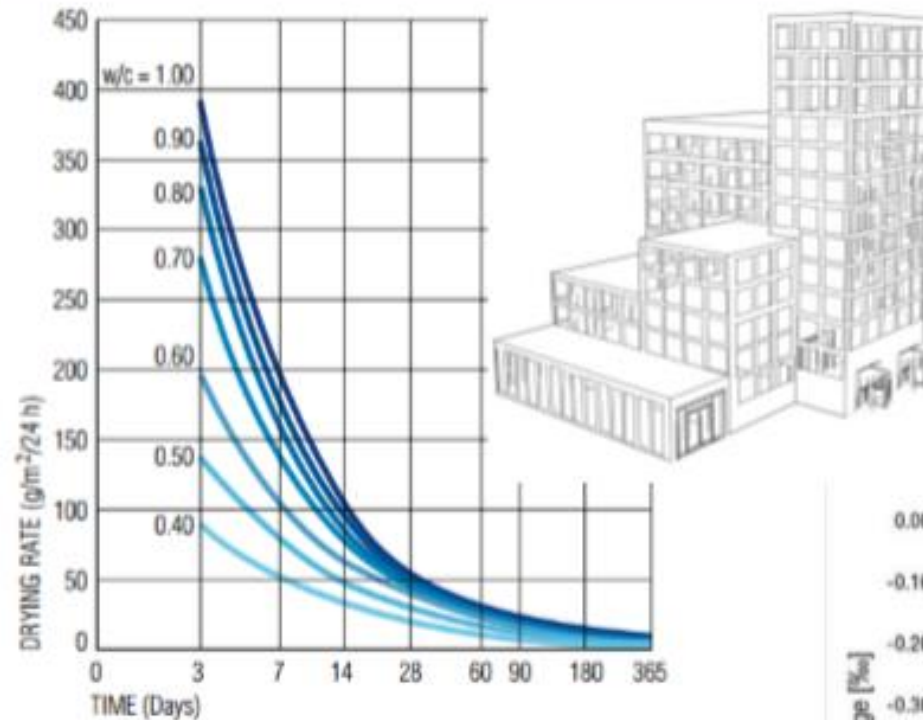
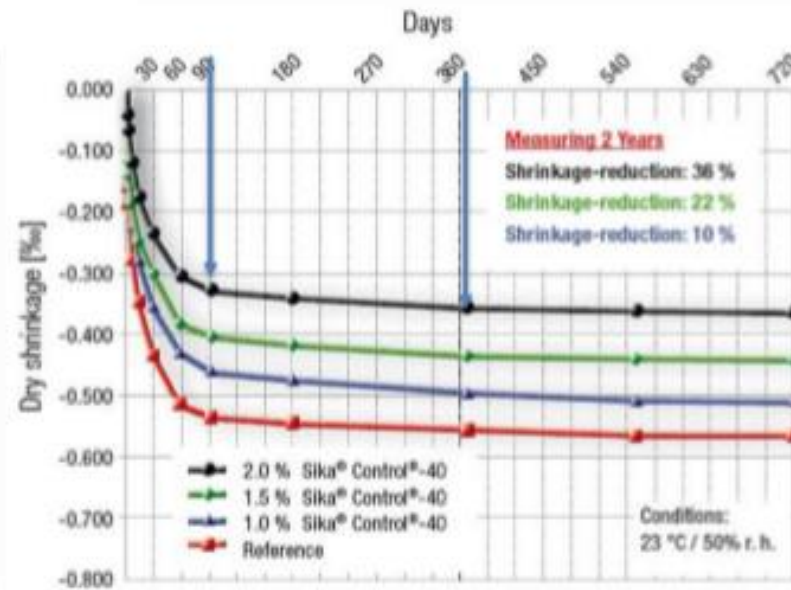


Figure 2: Effect of water-cement ratio on drying time [after Brewer⁸]. 100-mm-thick slab, cured for 7 days, drying from one side in a 23°C and 50% relative humidity environment. Time measured from commencement of drying. Units used are consistent with ASTM F1869-04⁹.

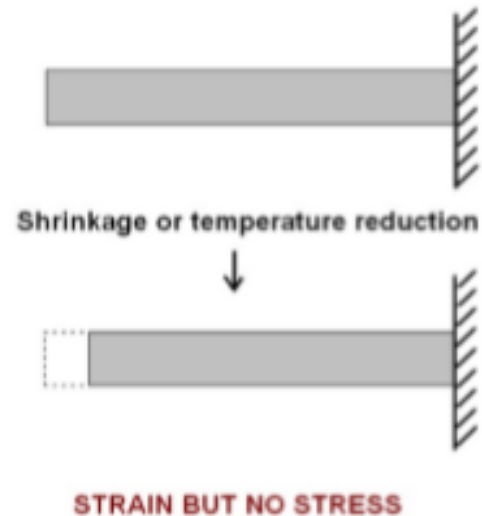


Perda de elevada
quantidade de água
inicial existente nos
materiais de
construção

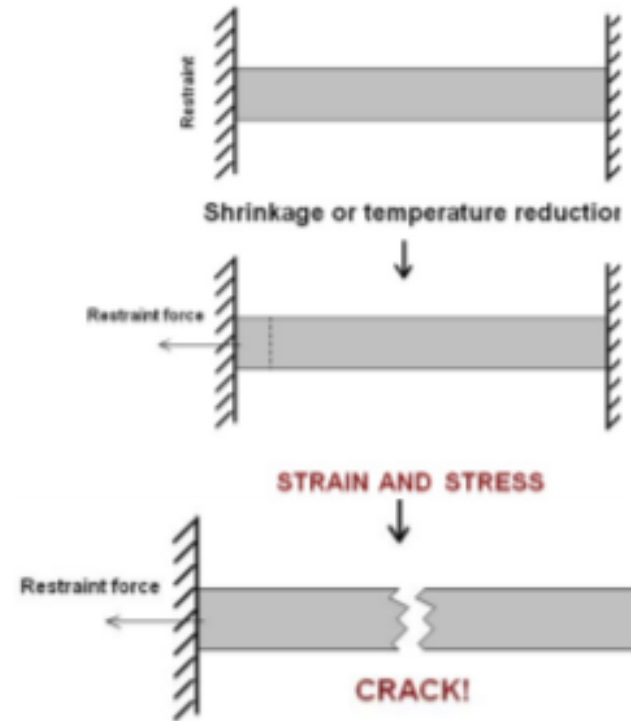


Impacto da Restrição

Sem restrição



Com restrição

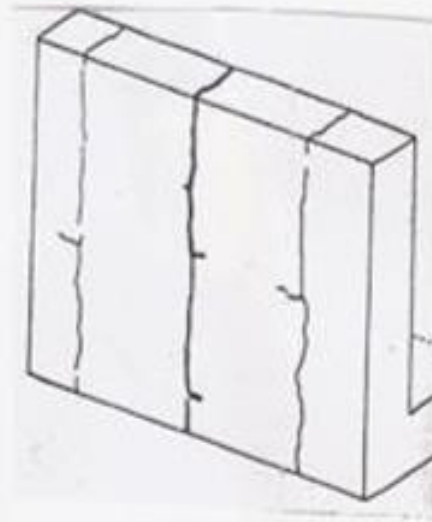


Efeito da restrição na morfologia das fissuras de retração



www.engineeringcivil.com

C1. Restrained Drying Shrinkage

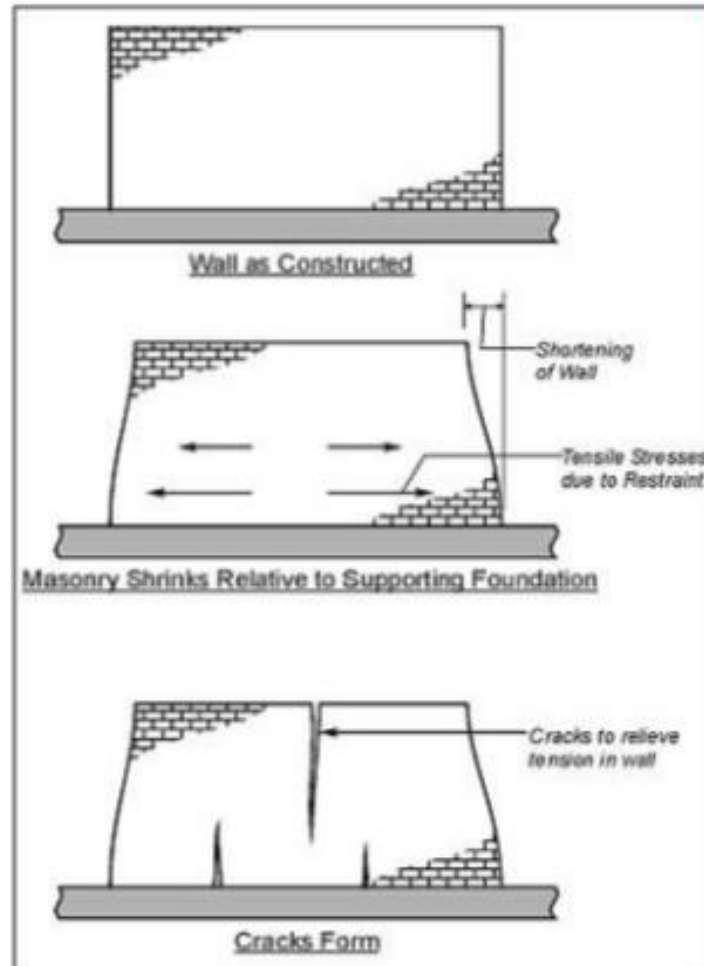


Partially

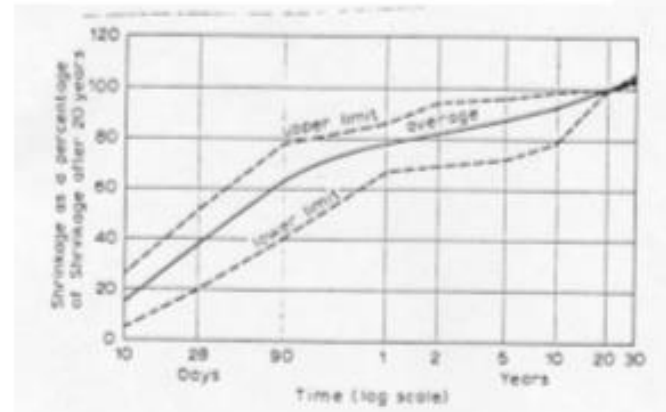
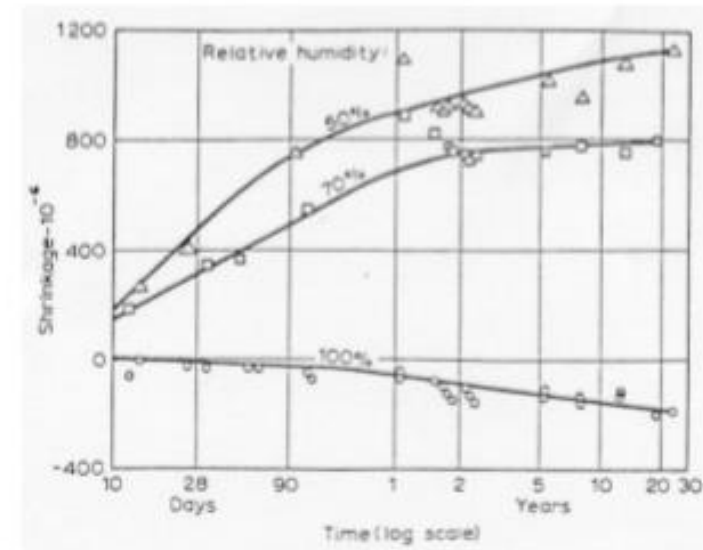
C2. Unrestrained Drying Shrinkage

Efeitos da retração por secagem

DRYING SHRINKAGE



Intensidade do fenômeno



Retração Blocos de Concreto

Mais intenso se o bloco ficou úmido durante o período da construção

Figure 2.22.2 Blockwork shrinkage crack. Note the crack is slightly wider at the top where there is no load.

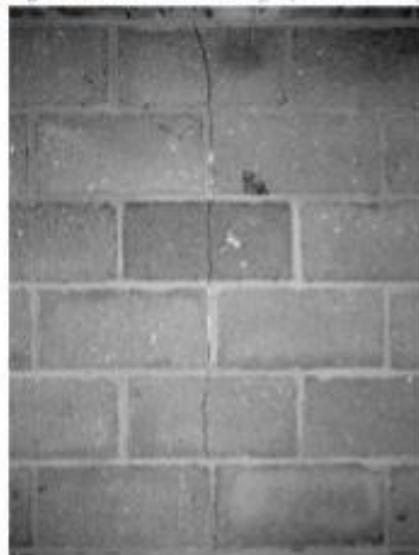
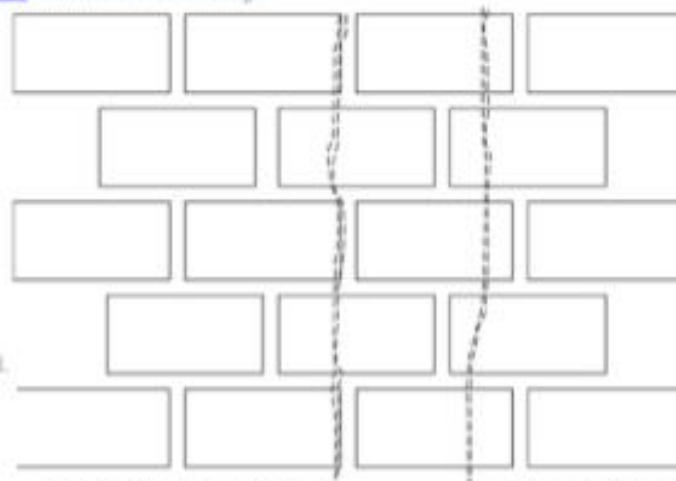


Figure 2.22.1 Concrete blockwork shrinkage.



Most common route for the crack is straight up the junction of the mortar joint and then straight through the block above to the next perp joint.

Other common route is via the weakest line through the blocks at the lap of the bond

MOVIMENTAÇÃO HIGROTÉRMICA - CONCRETO ENDURECIDO



Figura 1 - Esquema dos mecanismos que governam os tipos de retração incidentes sobre o concreto (adaptado de ESPING, 2007).

EXPANSÕES HIGROTÉRMICAS (VARIAÇÃO DE TEMPERATURA E UMIDADE)

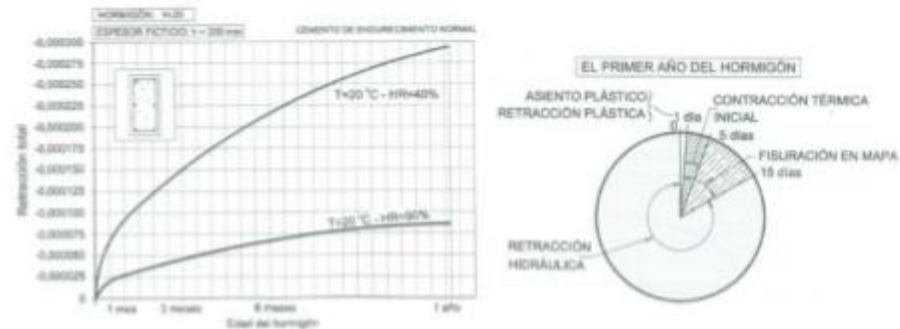


- Variação volumétrica devido a variações na temperatura ou teor de umidade
- Casos mais simples(variação de temperatura conhecida em elemento linear) a casos muito complexos (comportamento em situação de incêndio)
- Fissuras muitas vezes com espaçamentos aproximadamente similar

2. FASE ENDURECIDA

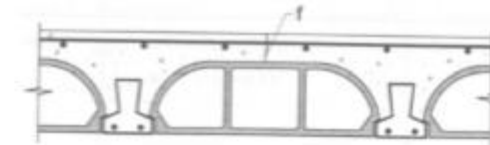
RETRACCIÓN HIDRÁULICA

- Disminución de volumen del hormigón endurecido
- Debido a reacciones químicas y reducción de humedad
- Fisuras finas (0.05 a 0.3 mm), pero profundas

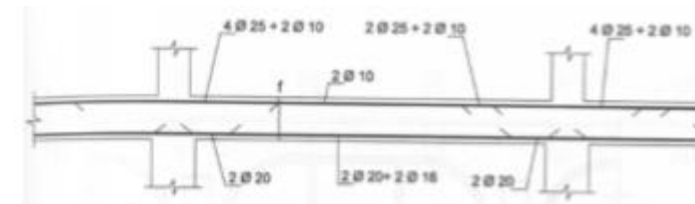


2. FASE ENDURECIDA

RETRACCIÓN HIDRÁULICA

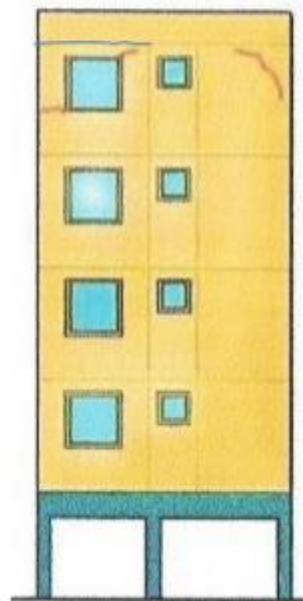


Capa de compresión de forjado unidireccional



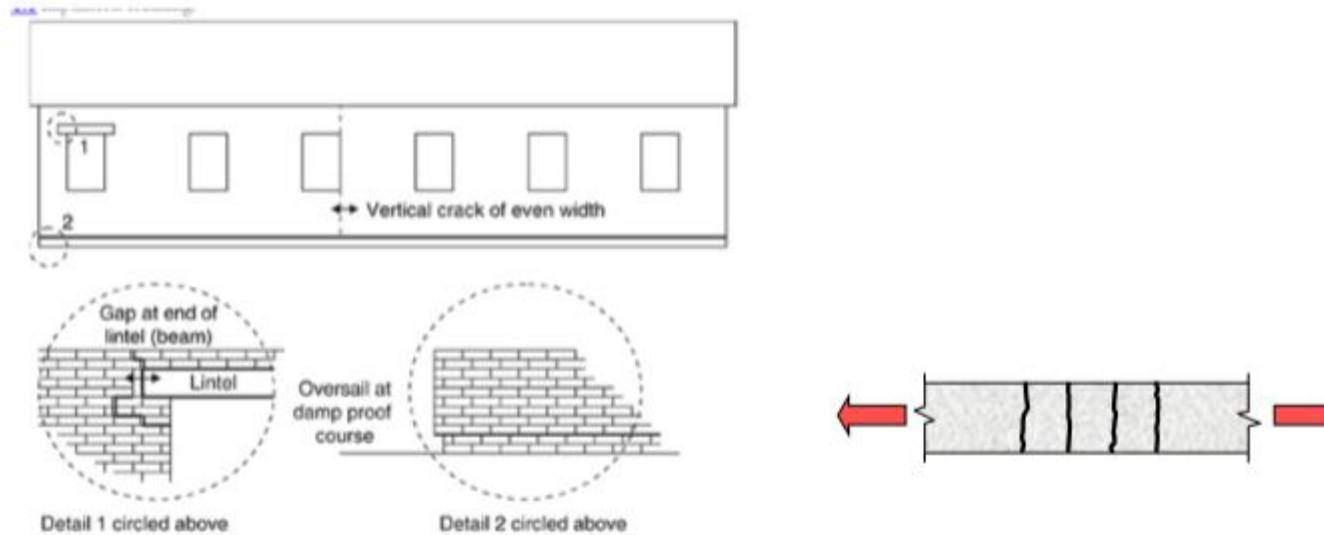
Viga con corte brusco de armaduras

Efeitos de variações de temperatura



Movimentação Térmica

- Expansão e Retração



Efeitos nos elementos limítrofes – muitas vezes mais visíveis

VARIAÇÕES TÉRMICAS

Daños en elementos horizontales

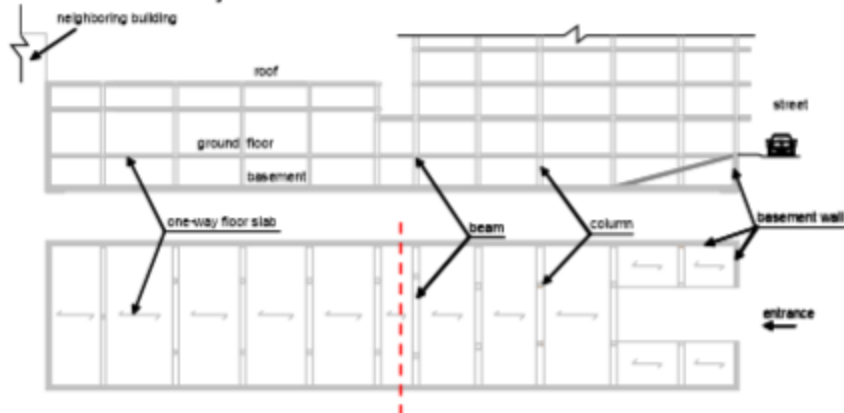
FASES DE DILATACIÓN, FASE DE CONTRACCIÓN, FASE DE DILATACIÓN, FASE DE CONTRACCIÓN, FASE DE DILATACIÓN

2. FASE ENDURECIDA

Deformaciones impuestas – VARIACIONES TÉRMICAS

Fisuras por coacción de movimientos

- Necesidad de juntas de dilatación



Daños en elementos horizontales

FASES DE DILATACIÓN, FASE DE CONTRACCIÓN, FASE DE DILATACIÓN, FASE DE CONTRACCIÓN, FASE DE DILATACIÓN

2. FASE ENDURECIDA

Deformaciones impuestas – VARIACIONES TÉRMICAS



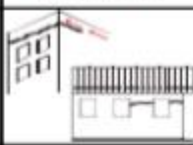
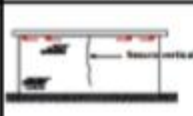
Movimentação Térmica – Ação sobre Elementos de Revestimento

Perda de
Aderência



Exposição concreto, perda de proteção,
acúmulo de umidade

FISSURAS NAS ALVENARIAS CAUSADAS POR VARIAÇÕES TÉRMICAS

TÉRMICAS	Fissuras causadas por variações de temperatura
	Fissuras horizontais por movimentação térmica da laje
	Fissuras inclinadas por movimentação térmica da laje
	Fissuras inclinadas em paredes transversais por movimentação térmica da laje
	Fissuras verticais por movimentação térmica da laje

	Fissuras inclinadas por movimentação térmica da estrutura de concreto armado
	Fissuras de destacamento por movimentação térmica da estrutura de concreto armado
	Fissuras verticais por movimentação térmica da alvenaria
	Fissuras de destacamento de platibandas por movimentação térmica

FONTE: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10135/000521582.pdf>

**edificação
SEGURA**
PROGRAMA NACIONAL
DE PROMOÇÃO DE RISCO
E AUMENTO DA VIDA ÚTIL
DE ESTRUTURAS DE
EDIFICAÇÕES



Enzo Perini, PhD 1974, University of Illinois, Environmental and Architectural Engineering, Urban Planning, Urban Design Enyong Perini, MS 1975, University of Illinois, Environmental and Architectural Engineering, Urban Planning, Urban Design	John Lee 1974, University of Illinois, Environmental and Architectural Engineering, Urban Planning, Urban Design Young Sam Yoon 1976, University of Illinois, Environmental and Architectural Engineering, Urban Planning, Urban Design
--	---

Introduction
 Foreign thinking of science was first highlighted by Lyons

A number of researchers have suggested that early age starting due to computer education is quite significant (Kang et al., 2005; Kang et al., 2007; Kang, 1995).

10

- Materials and Structures**
June 2001, Volume 34, Issue 5, pp 273-278
Effect of silica fume on the plastic shrinkage and
pore water pressure of high-strength concretes
T. A. Hammer

Referências interessantes



TR67 Movement, restraint and cracking in concrete structures

Product code: TR67

Concrete Society

Brand: Concrete Society

Codes of practice principally focus on design to resist externally applied loads, deriving the reinforcement needed to resist axial loads, bending moments and shear forces. However, many concrete elements are lightly loaded or are affected principally by other actions, such as early-age contractions, temperature and humidity effects, creep, and long-term drying shrinkage. These all generate movements, and although they rarely determine the ultimate capacity they often affect serviceability, particularly cracking. This Report considers the various types of movement and their timescales. Any cracking or deformation is usually at least the result of shrinkage and temperature added to early-age effects, and often with contributions from other sources. The importance of movement is highly dependent on whether it is restrained or not; all restraint is partial as restraints will usually give under the huge forces that can be generated. In addition, creep is beneficial in reducing the stresses induced by restraint, especially at early ages. The likelihood cracking occurring is very difficult to predict, and the strategy proposed by the Report is to assume that cracks will occur and to provide enough reinforcement to control them.

Published: 2008



- **Types** of movement
- **Magnitudes** of movement
- Restraint (**internal** / **surface** / **end** / **edge**)
- Crack width **calculation**
- **Mitigation** measures

FISSURAS DEVIDO CORROSÃO DAS ARMADURAS

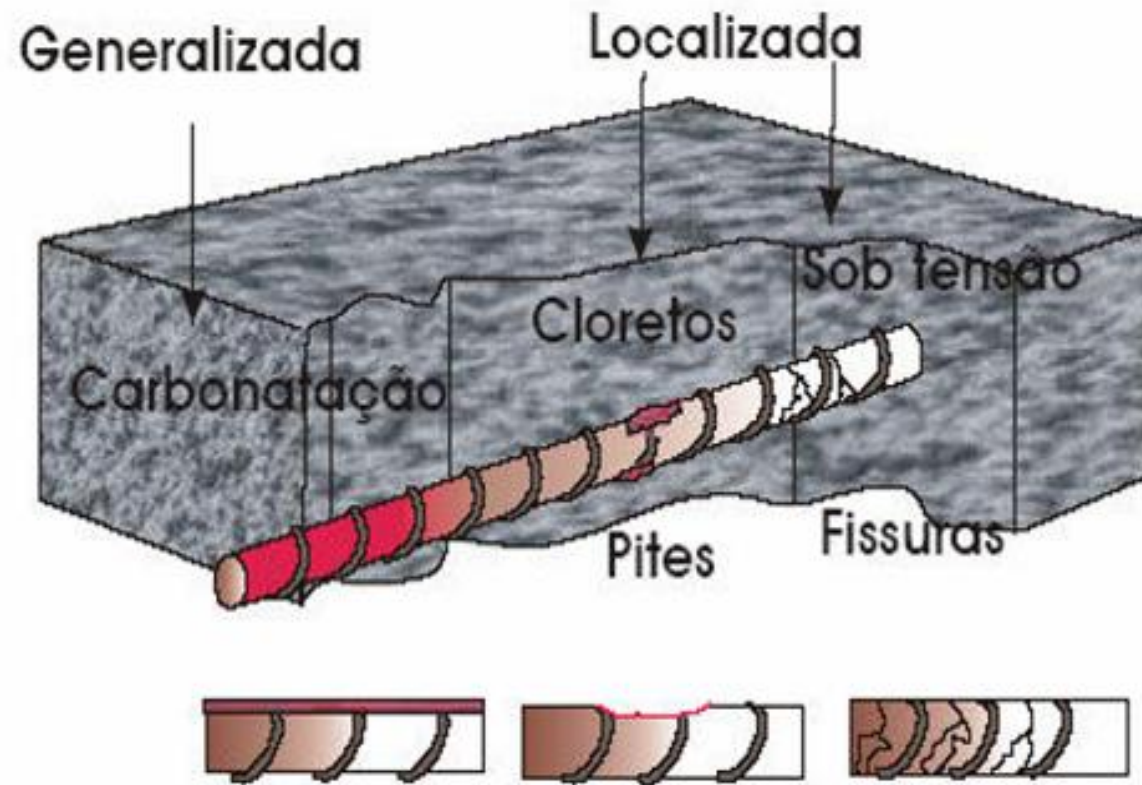
Efeitos em Edificações



Aumento deformações
Perda de integridade
Aceleração deterioração



CORROSÃO







	Hours	Days	Months	Years
Plastic Shrinkage	■			
Plastic Settlement	■			
Early thermal		■		
Drying Shrinkage			■	■
Corrosion			■	■



Aula 3.3 – Prof. Bernardo Tutikian

Foco da inspeção

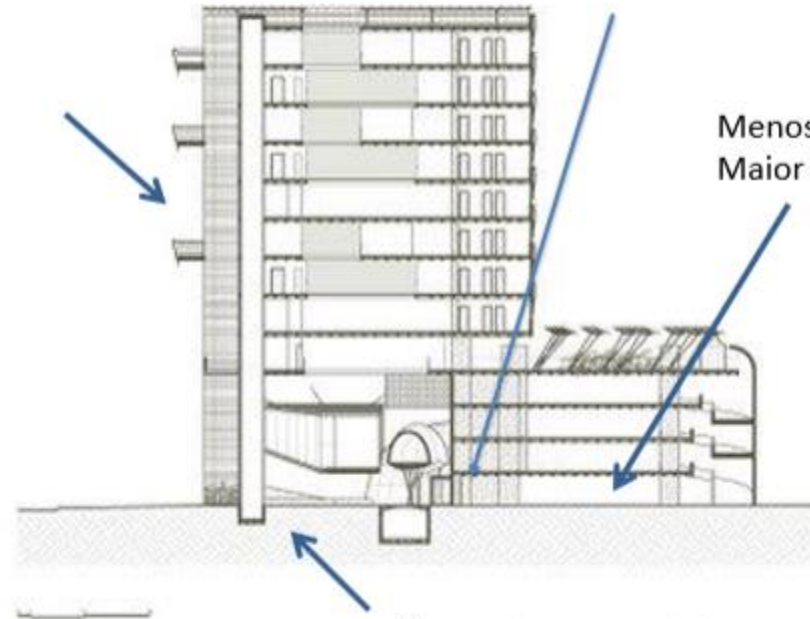
Foco de inspeção

Elementos mais
expostos à
intempérie

Elementos mais
carregados

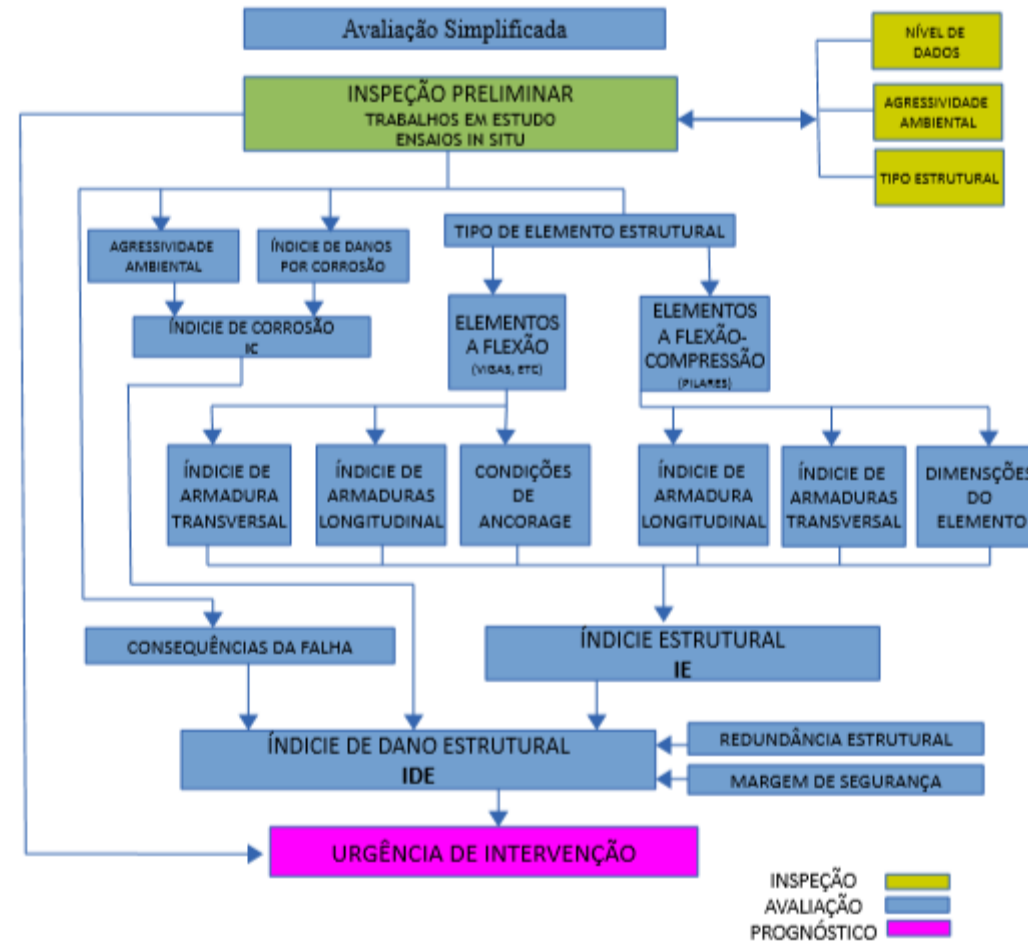
Menos protegida
Maior teor de CO₂

Elementos em contato com o solo



AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE UMA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

SOB CORROSÃO



FONTE: Programa Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento (CYTED)
 Rede Temática DURAR (Durabilidade de Armadura)
 Eduardo Torroja Instituto de Ciências da Construção (ICCET)

**EXERCÍCIO EM SALA DE AULA PARA
OS ALUNOS IDENTIFICAREM OS
TIPOS DE FISSURAS**

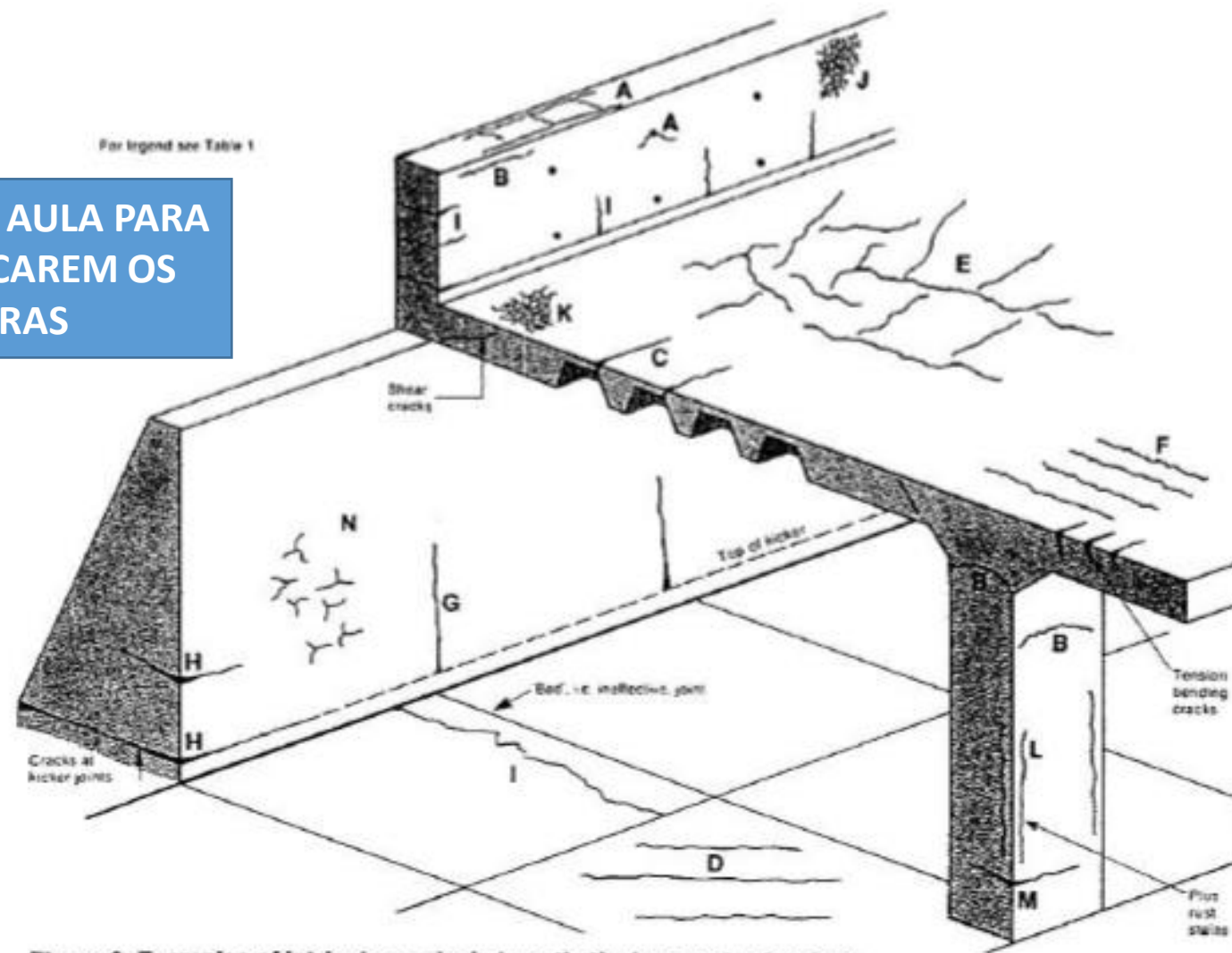


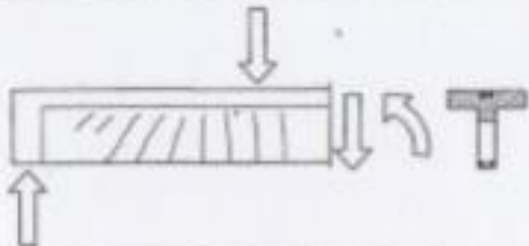
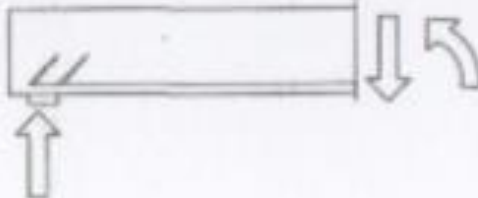
Figure 2: Examples of Intrinsic cracks in hypothetical concrete structure

Quadro III-4.2 Classificação da fissuração intrínseca [20].

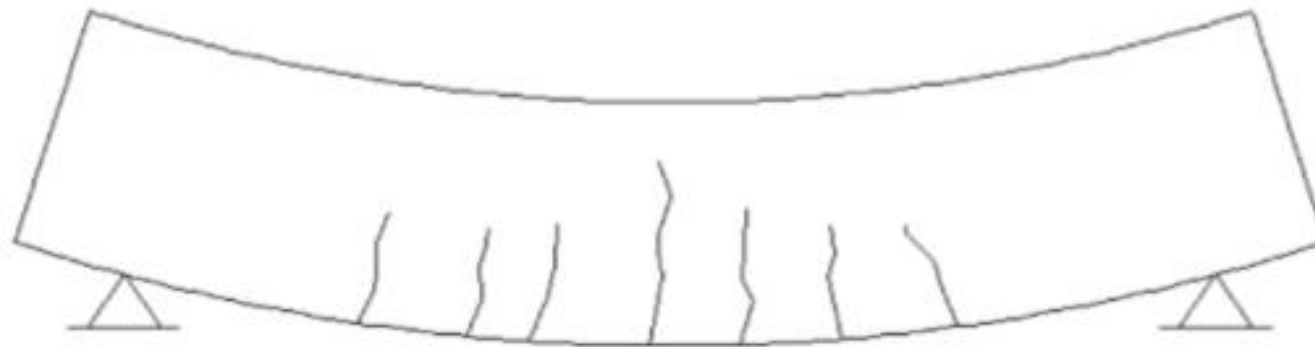
Tipo de fissuração	Posição na fig. III-4.14	Subdivisão	Localização mais frequente	Causa principal (excluindo a restrição)	Causas e factores secundários	Solução	Tempo de aparecimento
Assentamento plástico	A	Sobre as armaduras	Secções muito altas	Excesso de exsudação	Secagem muito rápida	Reduzir a exsudação (introdução de ar), ou re-vibração	10 min. a 3 horas
	B	Efeito de arco	topo de colunas				
	C	Mudança de altura	lajes aligeiradas				
Retracção plástica	D	Diagonal	Estradas e lajes	Secagem rápida	Baixa taxa de exsudação	Melhorar a cura inicial	30 min. a 6 horas
	E	Ao acaso	Lajes de betão armado				
	F	Sobre as armaduras	Lajes de betão armado	Secagem rápida, armaduras à superfície			
Contracção térmica	G	Restrição externa	Paredes espessas	Geração excessiva de calor	Arrefecimento rápido	Reduzir o calor e/ou isolar	1 dia a 2-3 semanas
Inicial	H	Restrição interna	Lajes espessas	Gradientes de temperatura excessivos			

Tipo de fissuração	Posição na fig. III-4.14	Subdivisão	Localização mais frequente	Causa principal (excluindo a restrição)	Causas e factores secundários	Solução	Tempo de aparecimento
Retracção de secagem lenta	I		Lajes (e paredes) delgadas	Juntas ineficazes	Retracção excessiva, cura ineficaz	Reduzir a água, melhorar a cura	Várias semanas ou meses
Fissuração mapeada "Crazing"	J	Contra o molde	Betão à vista	Molde impermeável	Mistura rica	Melhorar a cura e o acabamento	1-7 dias, às vezes muito mais tarde
	K	Betão talochado	Lajes	Talochamento excessivo	Cura deficiente		
Corrosão das armaduras	L	Natural	Lajes, vigas e pilares	Falta de recobrimento	Betão de má qualidade		Mais de 2 anos
	M	Cloreto de cálcio	Betão refabricado	Excesso de cloreto de cálcio			
Reacção alcali-agregado	N		(locais húmidos)	Agregados reactivos e cimento demasiado alcalino			Mais de 5 anos

Quadro III-4.3 Fissuras causadas por imposição de forças ou deformações.

Causa principal	Aspecto	Descrição
Flexão pura		A direcção das fissuras é perpendicular às armaduras.
Corte		As fissuras são inclinadas, desenvolvendo-se nas zonas onde o esforço de corte é dominante em relação ao de flexão.
Tracção pura		As fissuras atravessam toda a secção.
Torção		As fissuras têm inclinações opostas em lados opostos do elemento.
Perda de aderência		As fissuras formam-se nas zonas de amarração das armaduras. A sua direcção pode ser próxima da das armaduras.

Fissuras por Momento Fletor



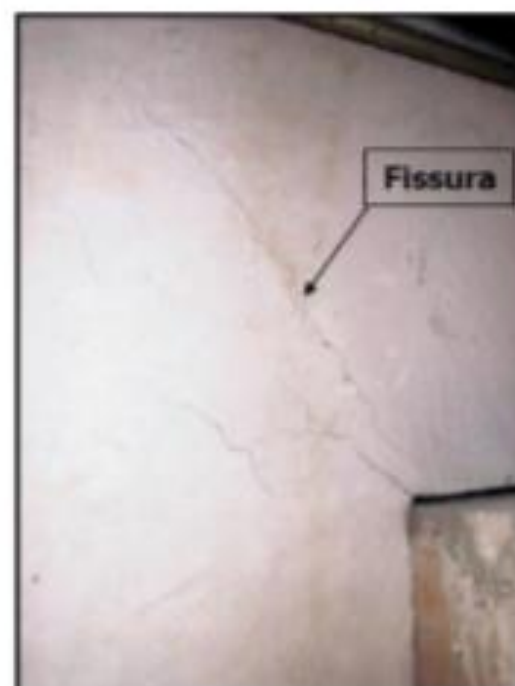
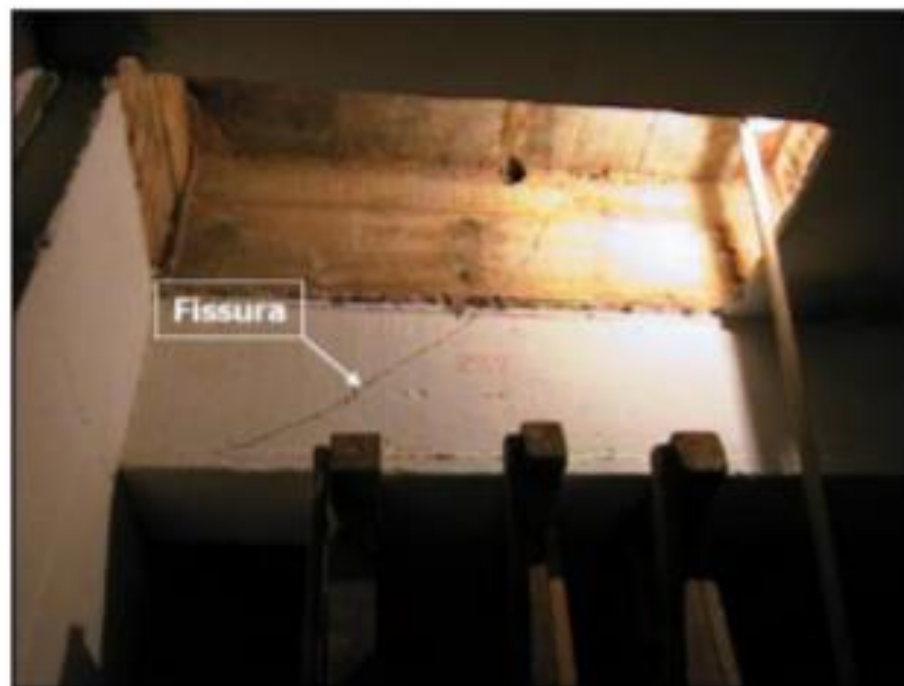
- Em geral possuem pequena abertura em comparação com as fissuras por corrosão.
- Obviamente ocorrem nas regiões de maior solicitação.
- Possuem maior abertura na face tracionada, reduzindo de abertura em direção à região comprimida.



Fissuras por Força Cortante

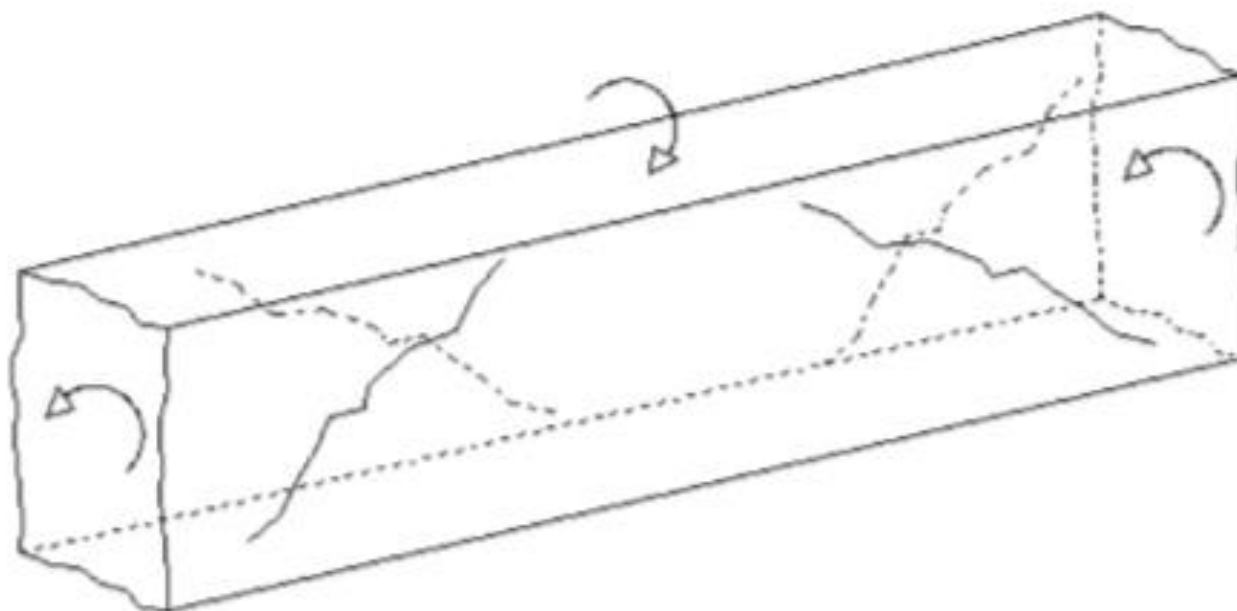


- Sua característica principal é a inclinação de aproximadamente 45° próximo aos apoios.





Fissuras por Torção



As fissuras também apresentam inclinação de 45°, porém com inclinação contrária à face oposta.

Fissuras devido a sobrecarga de esforços de torção



**Guincho instalado
em viga não
projetada para
suportá-lo**



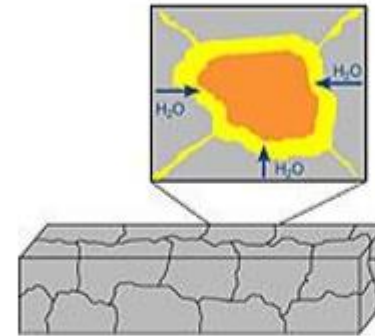
Eng. Ricardo Leopoldo e Silva França

Sintomatologia



Flambagem de barras
em um pilar por
corrosão dos estribos

Reação Álcali-Agregado



ATAQUE DE SULFATOS

- Caracteriza-se pela reação química dos íons de sulfato com os compostos de alumina, cálcio e hidróxidos do cimento portland endurecido formando etringite e numa escala menor, gesso.
- Leva a uma expansão e fendilhamento da pasta de cimento endurecida.
- É influenciada pela composição do concreto, as condições de cura e de exposição.
- *O ataque de sulfatos ocorre quando o sistema poroso do concreto é penetrado por soluções de sulfatos com origem normalmente nas águas dos solos, na água do mar ou nos efluentes industriais.*
- *O concreto atacado pelas soluções de sulfato de sódio ou cálcio apresenta-se no fim, mole e pulverulento.*



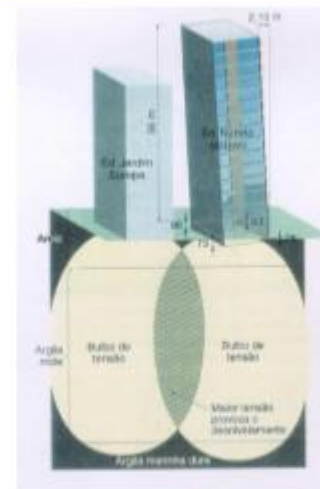
Figura 3.9 - Ataque de sulfatos numa laje.

Ataque por Sulfatos

- Reação químicas na qual íons sulfato (SO_4) presentes na mistura ou oriundos do ambientes circundante reagem com aluminatos, formando compostos expansivos (etringita / gesso) que absorvem água, gerando tensões internas que fissuram o concreto.
- Em alguns casos (sulfato de magnésio), a reação química pode causar a desestruturação dos silicatos de cálcio que formam a estrutura resistente do material;
- O ataque desagrega a superfície do concreto, tornando-a friável;
- A velocidade de ataque é normalmente lenta (pode necessitar 10 a 20 anos para que o ataque se manifeste de forma severa);
- Pode gerar movimentações globais da estrutura;



Cedimento do terreno devido à superposição bulbos de pressão



Maffei



Santos
65 edifícios
0,5 a 1,8m



FOTO: SIMÃO LUIZ / A TRIBUNA

