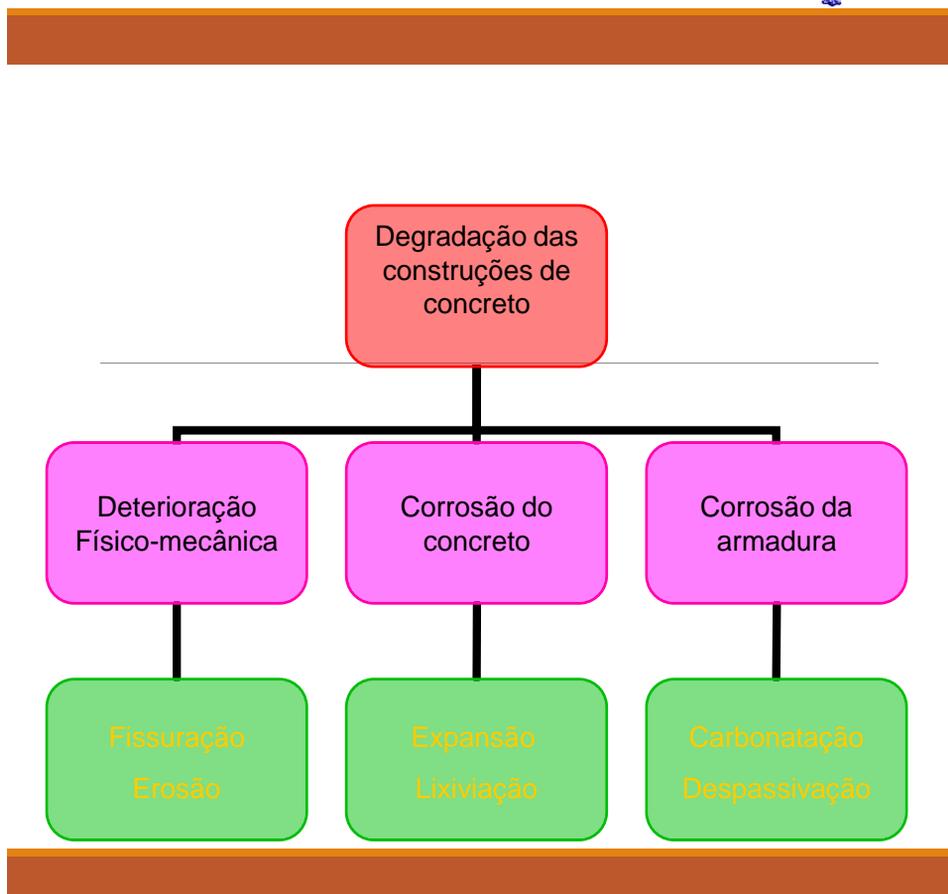


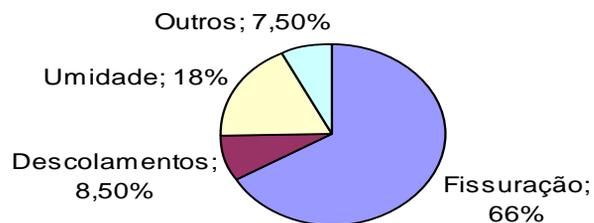
PEF 2503 – Estruturas Danificadas: Segurança e Ações Corretivas

Leila Cristina Meneghetti



Manifestações Patológicas

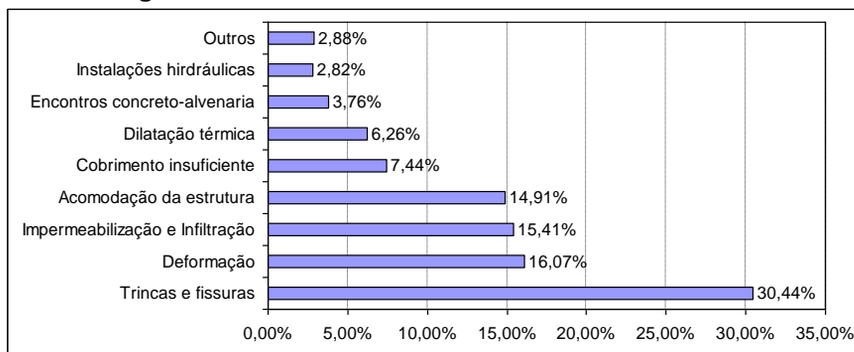
RS



(Dal Molin, 1988)

Manifestações Patológicas

Porto Alegre



(Masuero et al., 2003)

Deterioração físico-mecânica

Fissuração

CONCRETO FRESCO

- Assentamento plástico
- Dessecação superficial
- Movimentação de fôrmas

CONCRETO ENDURECIDO

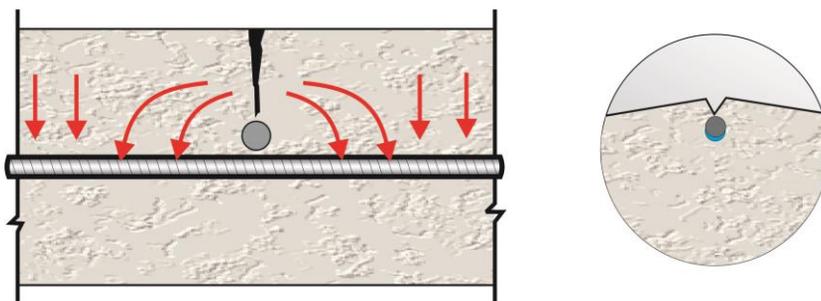
- Variação térmica
- Retração por secagem
- Sobrecargas
- Fundações
- Detalhes construtivos

- **Erosão** – desgaste por abrasão (piso), ação da água, ar...

Fissuração

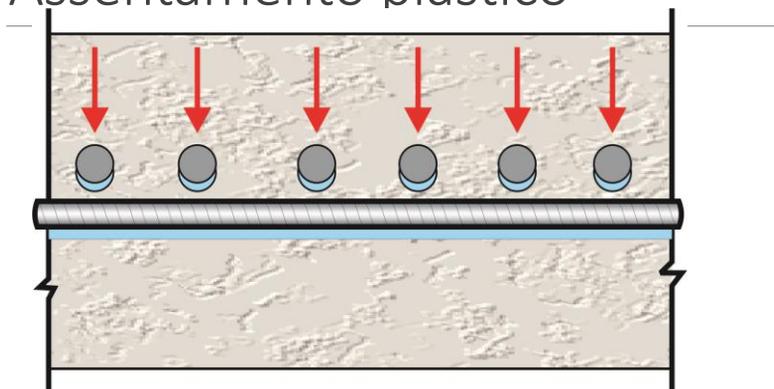
Assentamento plástico

Sedimentação – assentamentos diferenciais dentro da massa do concreto



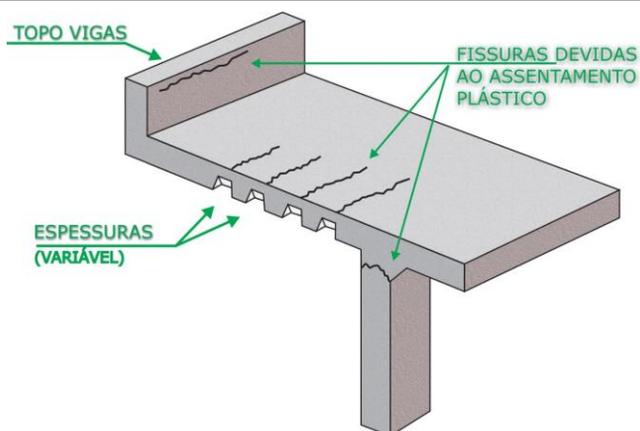
Assentamento plástico do concreto impedido pela armadura

Assentamento plástico



Durante o lançamento do concreto as partículas tendem a se movimentar para baixo havendo um deslocamento do ar aprisionado e da água para a superfície

Configurações típicas de fissuras por assentamento plástico



Fissuração

Assentamento plástico

Causas

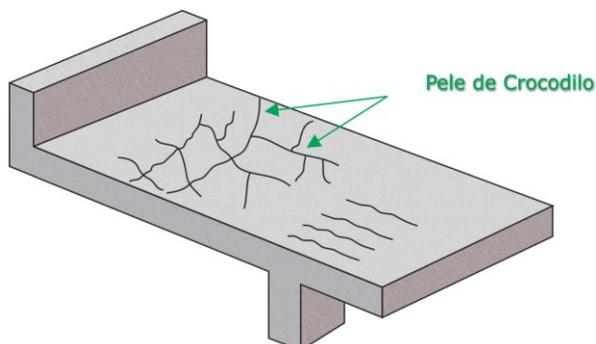
- Vibração prolongada
- Excesso de água no amassamento
- Falta de estanqueidade das formas
- Barras com grandes bitolas
- Cobrimento pequeno das armaduras
- Malhas densas (armadura)
- Excesso de exsudação

Aparecimento:
10 minutos a 3 horas

Fissuração

Dessecação superficial

Retração da superfície causada pela rápida evaporação da água



Abertura típica: 2 a 3 mm

Aparecimento: 30 min. a 6 horas



EVAPORAÇÃO

Depende

Temperatura
 Velocidade do ar
 Umidade relativa
 Cura realizada
 Temperatura superficial do concreto

Velocidade de exsudação

Lajes usuais: 0,5 a 1,5 l/m²/h

Depende

- Quantidade de água (a/c)
- Dosagem do concreto
- Temperatura
- Finura do cimento
- Granulometria
- Aditivos

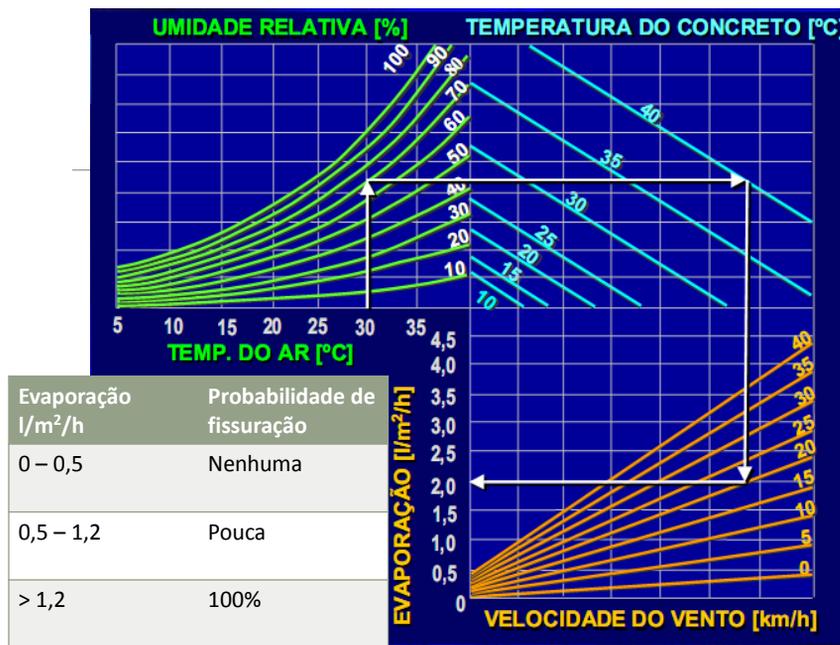


Gráfico para verificar a tendência de fissuração do concreto fresco

Cimento

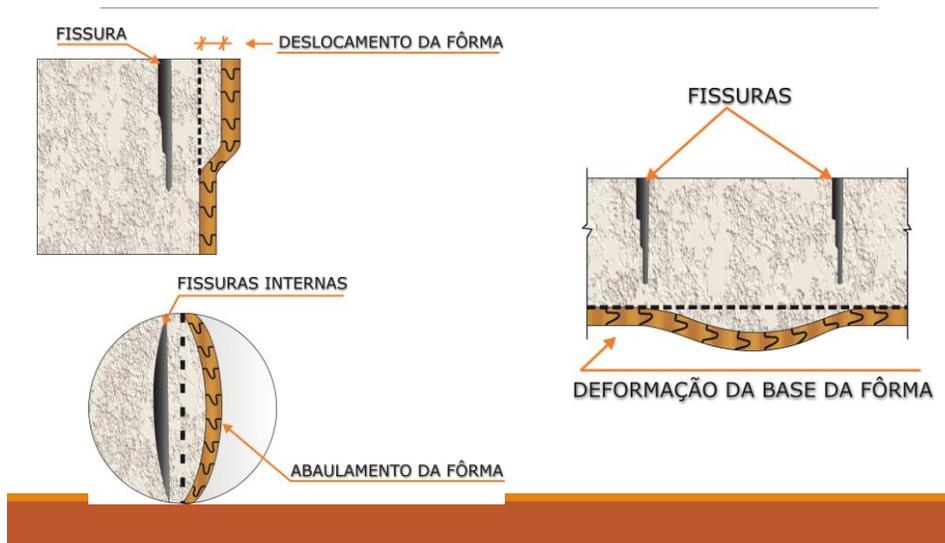


MAIOR RETRAÇÃO
OS MAIS RESISTENTES E DE PEGA MAIS RÁPIDA

Fissuração

Movimentação das formas

(ocorre na fase plástica)



Fissuração

Movimentação das formas

Causas da movimentação

- Sobrecargas – avaliação incorreta das cargas atuantes

CARGAS VERTICAIS

Permanentes

Acidentais – 1,5 a 3,5 kN/m²

CARGAS HORIZONTAIS

Vento

Expansão do concreto

Impacto de equipamento

Pressão concreto fresco

(vibração/aditivo s/ tempo de pega)

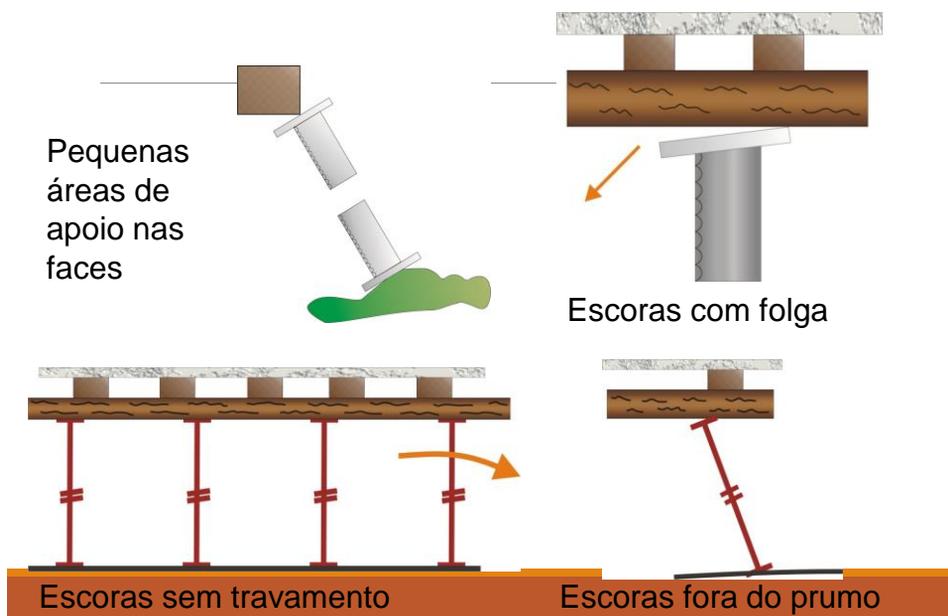
Movimentação das formas: escoramentos mal executados

Escoramento

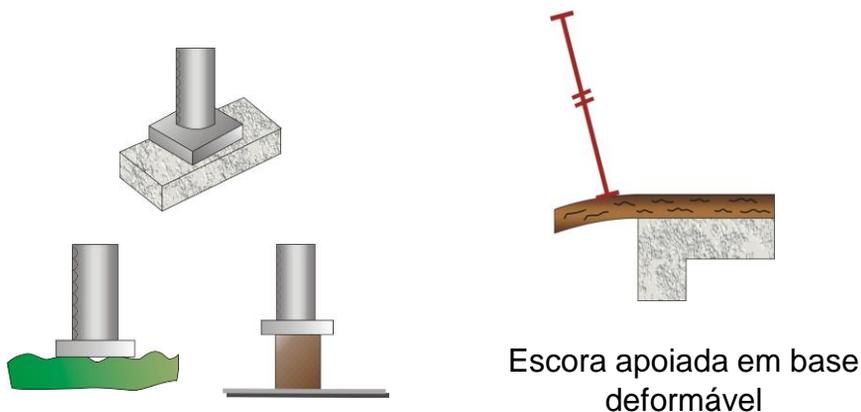
- Deslocamento de alguma escora por impacto
- Falta de travamento (contraventamento)
- Deslocamento das escoras por vibração excessiva
- Escoras fora de prumo
- Escoras muito esbeltas
- Apoio inadequado das escoras
 - Insuficiência de área de contato apoio/forma
 - Bases deformáveis ou instáveis



Escoramentos mal executados



Escoramentos mal executados



Apoios em bases instáveis

Escola apoiada em base deformável

Movimentação das formas: escoramentos mal executados

Detalhes construtivos

- Falta de amarração nos cantos das formas
- Formas de vigas externas

Mão-de-obra

- Falha na interpretação dos projetos
- Execução imperfeita

Lançamento do concreto

- Velocidade de colocação da mistura
- Grande volume de concreto acumulado sobre a superfície
- Cargas excêntricas
- Elevadas pressões de impacto

Importância das formas na prevenção de manifestações patológicas

téchne MELHORES PRÁTICAS

» **Escoramento remanescente**
Desempenho da estrutura e ausência de patologias em demais sistemas dependem diretamente do planejamento eficaz dessa estrutura provisória



O plano operacional para o escoramento remanescente deve contar com projeto próprio, implicando diretamente nas propriedades do concreto. Os principais itens são o ciclo de concretagem, as características do concreto ao executar a laje imediatamente acima, a sobrecarga de utilização das lajes, o peso próprio, as características e o posicionamento das escoras e a quantidade de jogos necessários.

Planejamento

Organização prévia

Importância das formas na prevenção de manifestações patológicas

téchne MELHORES PRÁTICAS

» **Escoramento remanescente**
Desempenho da estrutura e ausência de patologias em demais sistemas dependem diretamente do planejamento eficaz dessa estrutura provisória



No dia do lançamento do concreto as escoras já devem estar posicionadas nos locais determinados pelo projetista estrutural. Um dia antes, devem ser retradas do andar mais baixo que ainda contar com escoramento residual e, por ser mais antigo, já apresenta resistência suficiente.

Planejamento

Organização prévia

Importância das formas na prevenção de manifestações patológicas

téchné MELHORES PRÁTICAS

» **Escoramento remanescente**
Desempenho da estrutura e ausência de patologias em demais sistemas dependem diretamente do planejamento eficaz dessa estrutura provisória



A parte inferior das fôrmas deve contar com marcas que determinem o posicionamento correto das escoras. A colocação das escoras deve ocorrer antes do lançamento do concreto. A tarefa deve ser executada pelo operário que acompanha a concretagem sob a laje.

Organização prévia

Posicionamento

Importância das formas na prevenção de manifestações patológicas

téchné MELHORES PRÁTICAS

O Projeto de Estruturas e s

» **Escoramento remanescente**
Desempenho da estrutura e ausência de patologias em demais sistemas dependem diretamente do planejamento eficaz dessa estrutura provisória



A migração das cargas do cimbramento original para o remanescente tem que ser natural, com distribuição uniforme, a partir do descimbramento. Para tanto, o aperto das escoras contra a laje deve ser manual, apenas pressionando-as contra a fôrma de modo que não sobrem espaços vazios nos apoios e, tampouco, introduzam esforços danosos.

Posicionamento

Aperto

As boas práticas.... ??



Fissuração *Variação Térmica*

INFLUÊNCIAS EXTERNAS
MUDANÇA NAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS

- Temperatura ambiente
- Ação do vento
- Radiação solar
- Propriedades ligadas ao próprio material
 - Calor específico
 - Massa específica
 - Coeficiente de condutividade térmica
 - Absorção à radiação solar (branco = 0,20; preto = 0,97)
 - Rugosidade da superfície

PROPRIEDADES LIGADAS AO PRÓPRIO MATERIAL

Coefficiente de dilatação térmica

- Tipo de agregado, proporções da mistura,...

NBR 6118 $\alpha = 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$ (concreto armado)

PASTA $\alpha = 1,1 \text{ a } 2,0 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$

AGREGADO $\alpha = 0,9 \text{ A } 1,6 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$

MOVIMENTAÇÃO TÉRMICA

Condutividade térmica

- $f(\text{Tipo de agregado, massa específica})$

Difusibilidade térmica

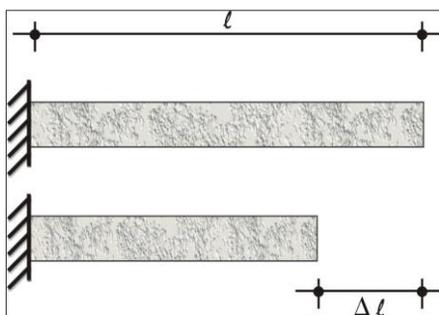
- $f(\text{Tipo de agregado, massa específica})$

Calor específico

- $f(\text{Teor de umidade, massa específica})$

Emitância da superfície do componente

MOVIMENTAÇÃO TÉRMICA EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS



$$\Delta l = \alpha l \Delta T$$

$$\sigma = E \alpha \Delta T$$

MOVIMENTAÇÃO TÉRMICA

Material	α ($^{\circ}\text{C}$) 10^{-5}	E (GPa)	f_t (MPa)
Argamassa de cimento	0,8 a 1,2	15 a 20	1,5 a 3,0
Argamassa mista	0,2 a 0,8	3,0 a 15	0,2 a 1,5
Concreto	0,8 a 1,8	25 a 35	2 a 4
Concreto armado	1,0	25 a 35	2 a 4
Alvenaria de tijolos	0,4 a 0,8	8,0 a 15	0,5 a 1,0
Alvenaria blocos	0,6 a 1,0	10 a 20	0,8 a 1,5

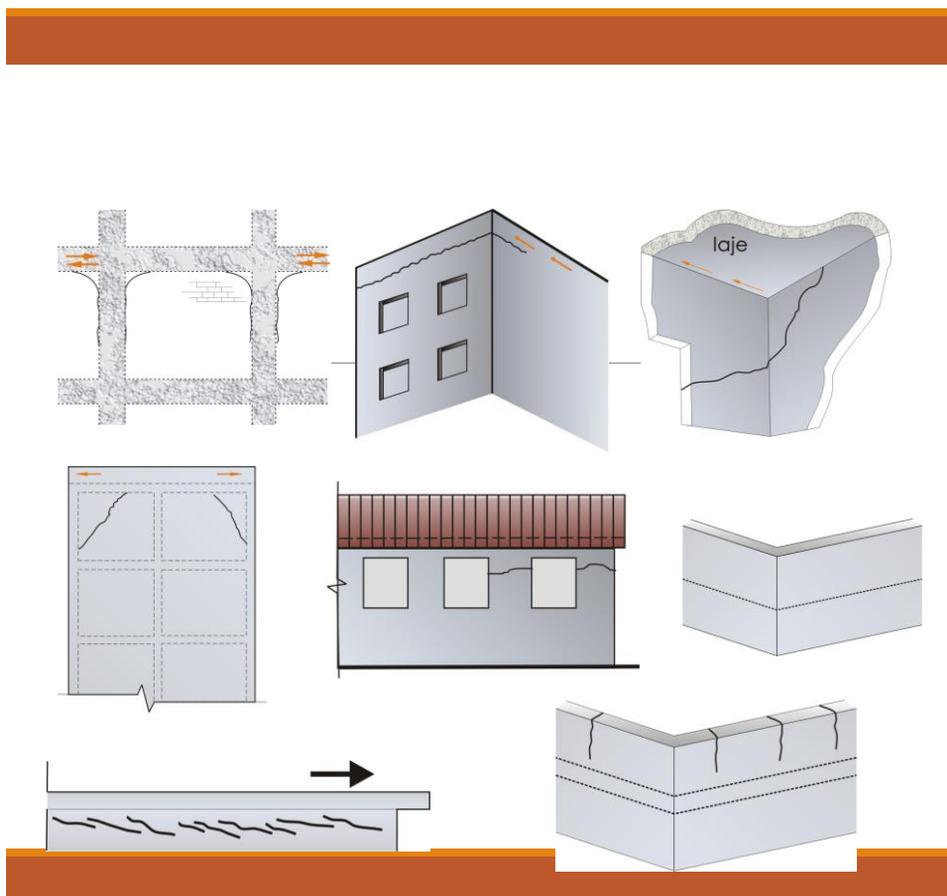
α = coeficiente de dilatação térmica

E = módulo de elasticidade

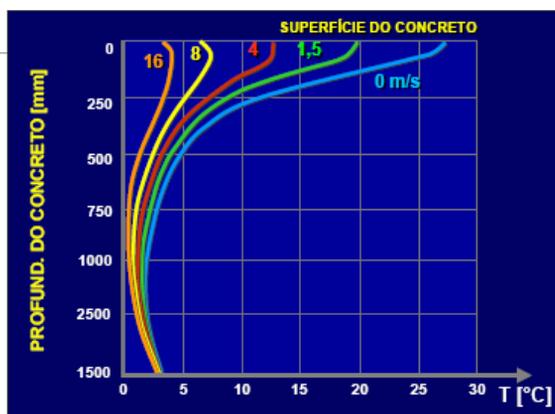
f_t = resistência à tração

ABSORÇÃO À RADIAÇÃO SOLAR

Material/Cor	Absorção térmica
Caiação/tinta branca	0,20
Tinta amarela	0,35
Cimento amianto	0,60
Telha, tijolo, tinta verde	0,72
Tinta preta/asfalto	0,97



Ação do vento



Influência da velocidade do vento na distribuição da temperatura em uma estrutura aquecida.

RADIAÇÃO SOLAR

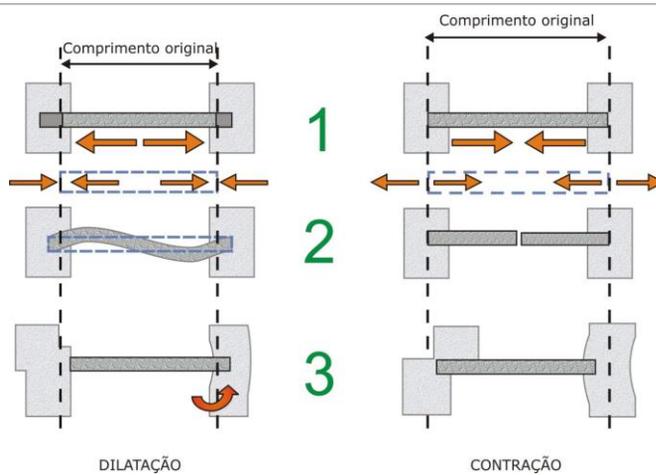
Situação geográfica

Época do ano

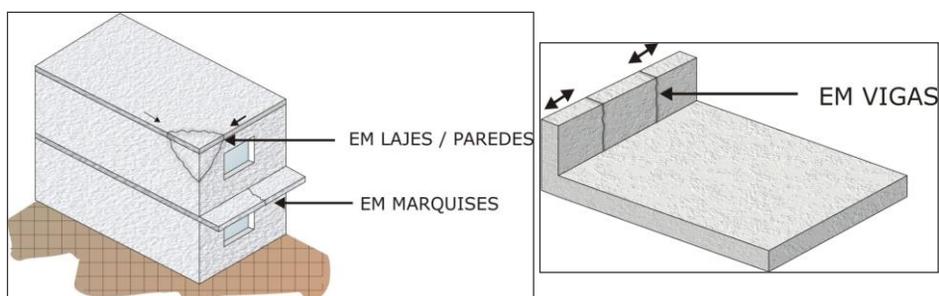
Presença de nuvens

Orientação da superfície x incidência raios

AÇÃO PATOLÓGICA Devido a movimentação térmica

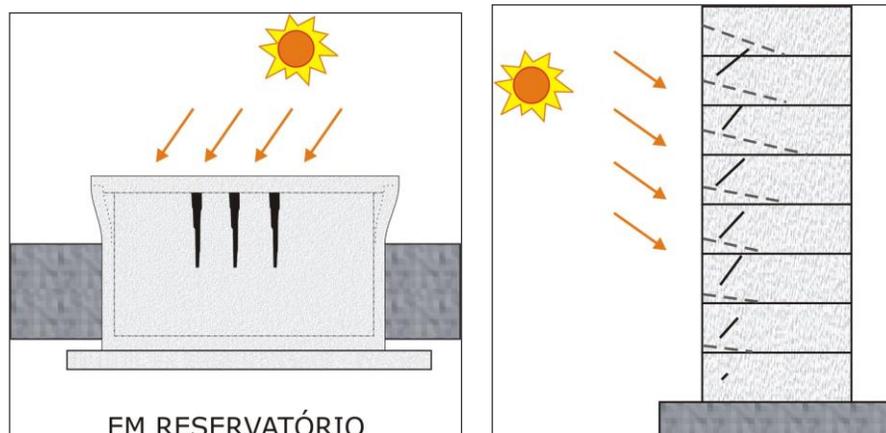


AÇÃO PATOLÓGICA Devido a movimentação térmica



AÇÃO PATOLÓGICA

Devido a movimentação térmica



CARACTERÍSTICAS DAS FISSURAS

ABERTURA



**VARIÁVEL COM AS VARIAÇÕES
DAS TEMPERATURAS**

MANIFESTAÇÃO: DIAS → MESES → ANOS

FISSURAS DE VARIAÇÃO TÉRMICA



MEDIDAS PREVENTIVAS

PROJETO

Juntas de dilatação
Rugosidade/cor da superfície
Armaduras
Isolamento térmico

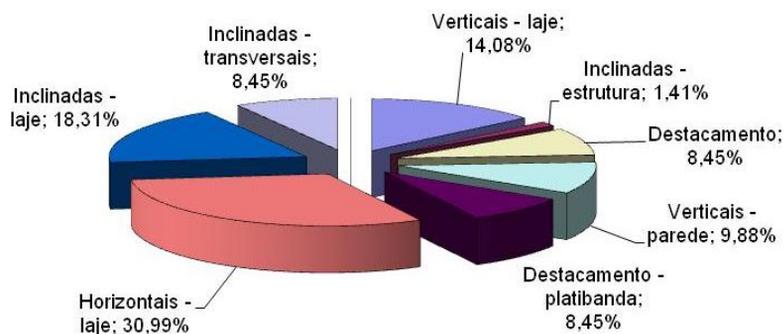
EXECUÇÃO

Cura
Insolação precoce

USO

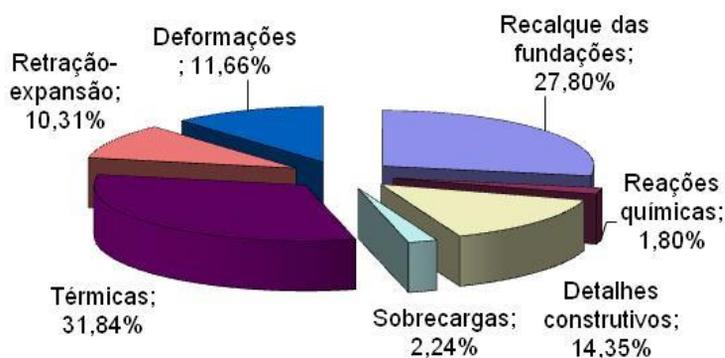
Ar condicionado
Variação de temperatura

Fissuras térmicas em alvenaria RS



Magalhães e Dal Molin, 2004

Fissuras em alvenaria segundo suas causas - RS



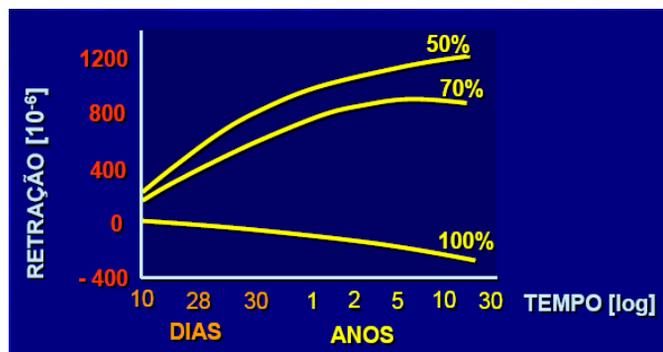
Magalhães e Dal Molin, 2004

Fissuração

Retração por secagem

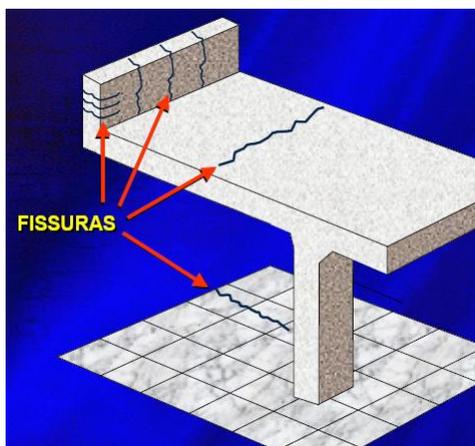
(retração hidráulica)

Decorre da contração volumétrica da pasta pela saída da água do concreto conservado em ar não saturado



Retração em função do tempo de concretos conservados a diversas umidades relativas

Fissuras devido à retração por secagem



PRINCIPAIS CAUSAS

- Grandes superfícies em contato com o ambiente
- Variação da umidade relativa do ar
- Cura inadequada
- Vento

FISSURAS RETRAÇÃO POR SECAGEM



Medidas preventivas

Juntas de dilatação
Dosagem
 Baixa relação a/c
 Pequeno consumo de cimento
 > Quantidade de agregado graúdo
 Armaduras adequadas

PROJETO

Cimentos com lento desenvolvimento da resistência
Agregados com elevado módulo de deformação
 Evitar presença de argila nos agregados

MATERIAIS

Cura adequada

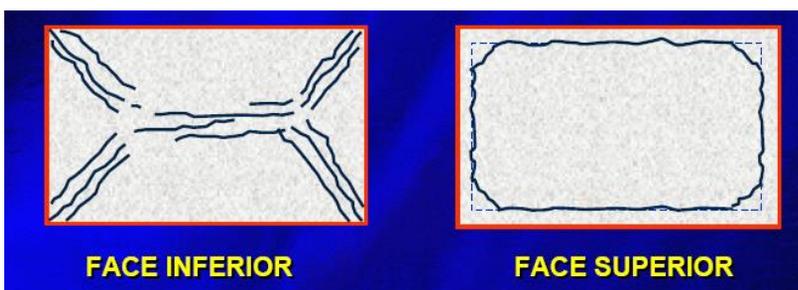
EXECUÇÃO

Fissuração *Sobrecargas*

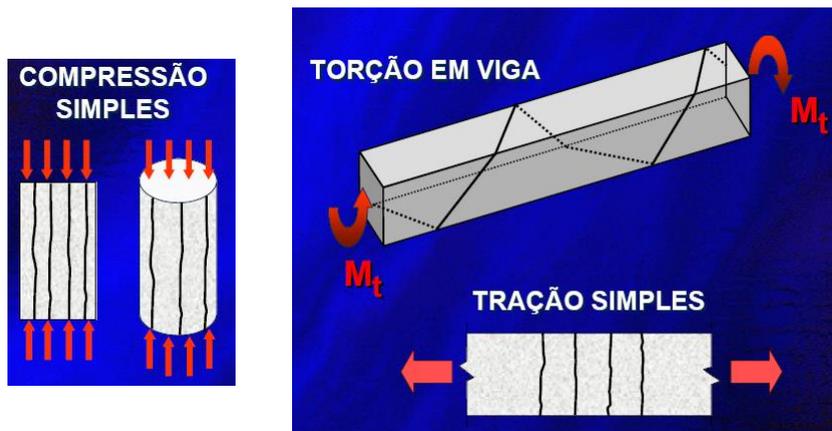


Fissuração *Sobrecargas*

FISSURAS DEVIDO À FLEXÃO EM LAJES



Fissuração *Sobrecargas*



Fissuração *Sobrecargas*

➤ Flexão	61%
➤ Deformação	22%
➤ Cisalhamento	15%
➤ Tração	2%

ORIGEM	➤ Projeto	60%
	➤ Execução	28%
	➤ Uso indevido	10%
	➤ Outras	2%

(Dal Molin, 1988)

FISSURAS ACIDENTES



Medidas preventivas



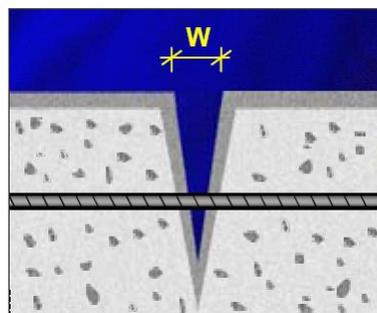
Fissuração

AMBIENTE DE AGRESSIVIDADE

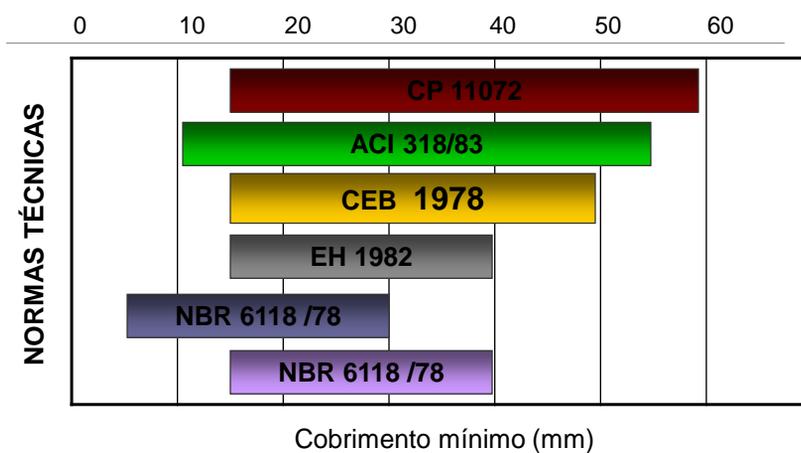
NBR 6118

- Fraca ou nula $W \leq 0,4\text{mm}$
- Média $W \leq 0,3\text{mm}$
- Forte $W \leq 0,1\text{mm}$

CEB $\leq 0,35\text{mm}$



COBRIMENTO MÍNIMO



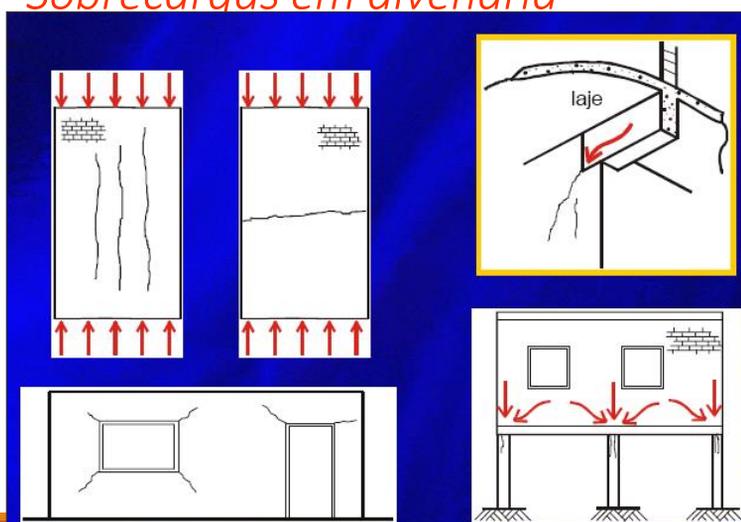
Fissuração

Sobrecargas em alvenaria

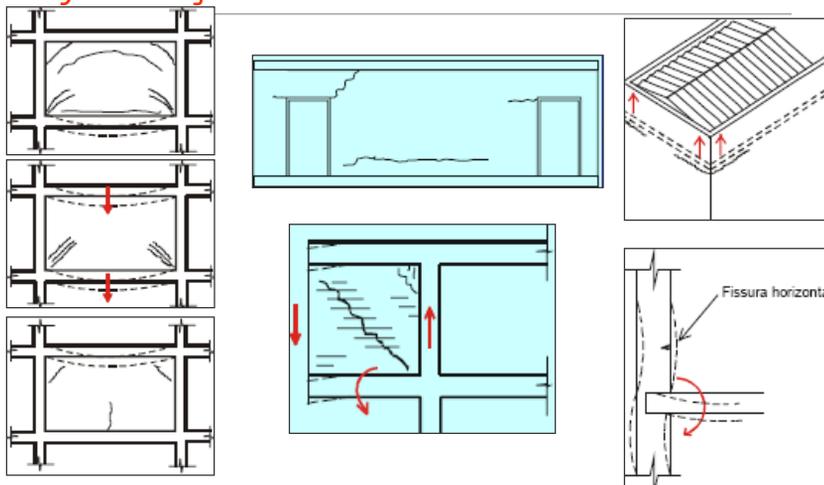


Fissuração

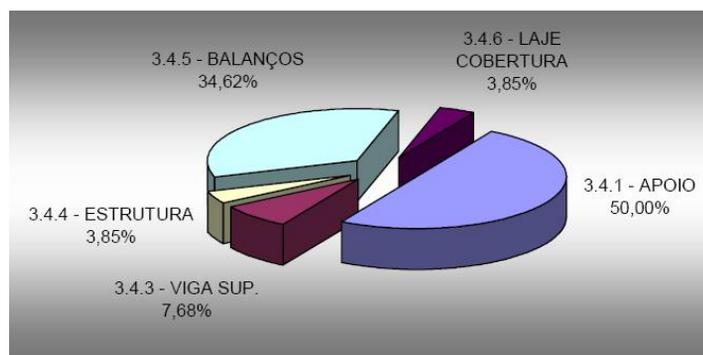
Sobrecargas em alvenaria



Fissuras em alvenaria por deformação na estrutura



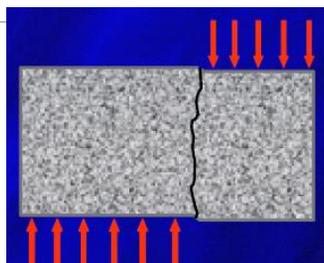
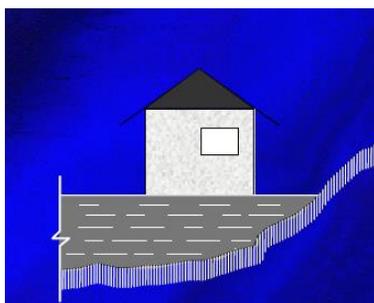
Fissuras em alvenaria por deformação na estrutura



(Magalhães e Dal Molin, 2004)

Fissuração *Fundações*

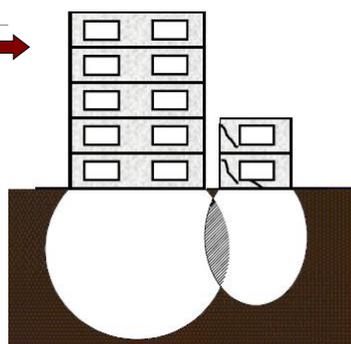
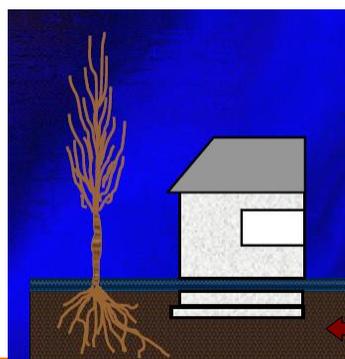
Fundações contínuas
Carregamentos desbalanceados



Consolidação distinta do
aterro carregado

Fissuração *Fundações*

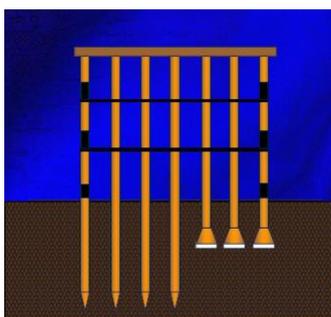
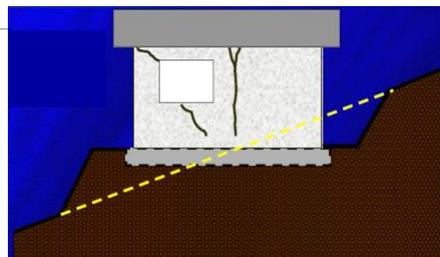
Fundações contínuas
Carregamentos desbalanceados



Consolidação distinta do
aterro carregado

Fissuração *Fundações*

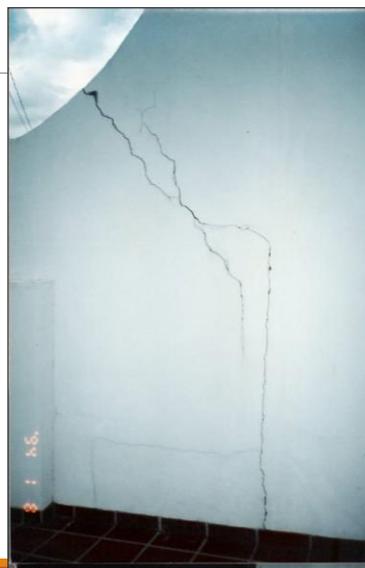
Seções de corte



Diferentes sistemas de
fundação na mesma
edificação



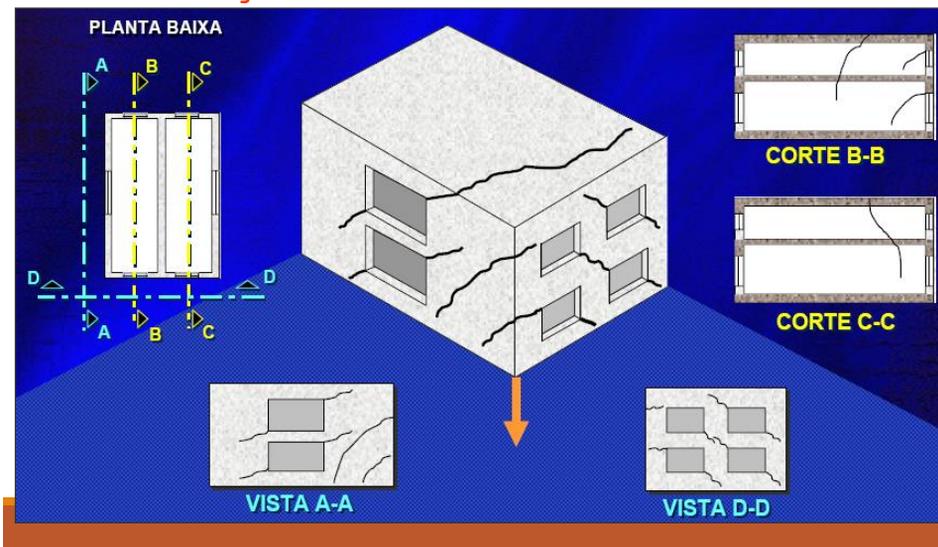
FISSURAS FUNDAÇÕES



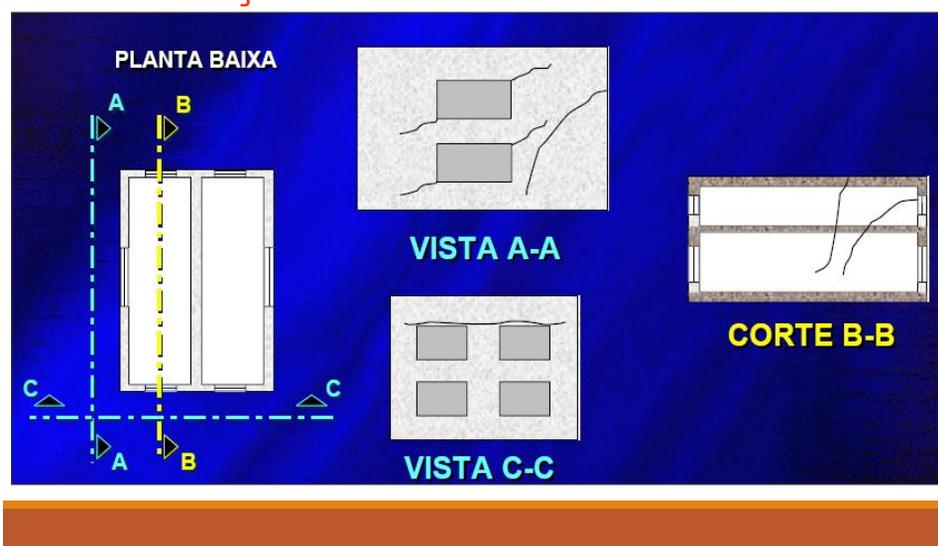
FISSURAS FUNDAÇÕES



Fissuração *Fundações*



Fissuração *Fundações*



Valores limites de distorção angular

• Paredes e divisórias $l/300$ a $l/500$

• Componentes estruturais $l/500$

RECALQUE ADMISSÍVEL

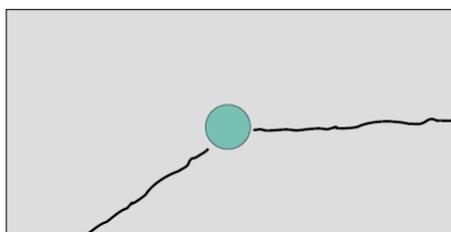


- Tipo da estrutura
- Rigidez da estrutura
- Função e localização da estrutura
- Magnitude, velocidade e distribuição do recalque

Fissuração

Detalhes construtivos

Eletrodutos – Tubulações muito próximas da superfície



Face inferior das lajes

MEDIDAS PREVENTIVAS

EXECUÇÃO

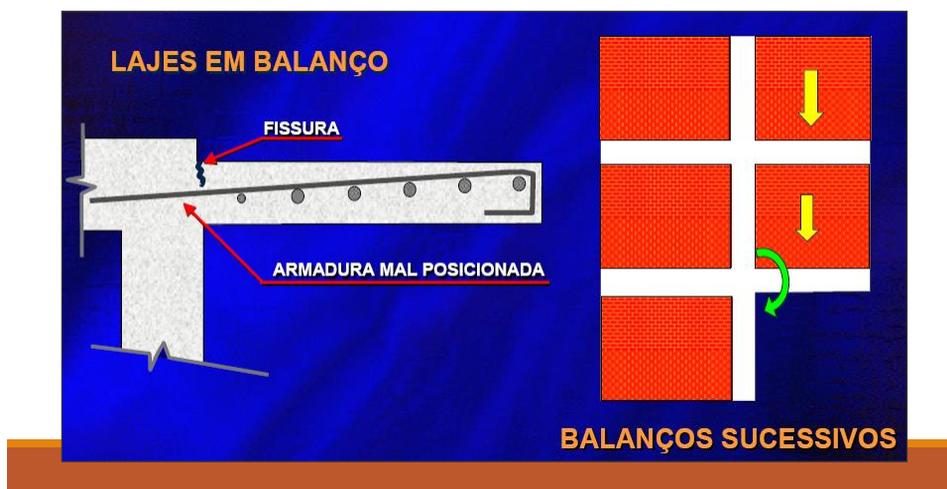


Cobrimento adequado dos eletrodutos/armadura adicional

Fissuração

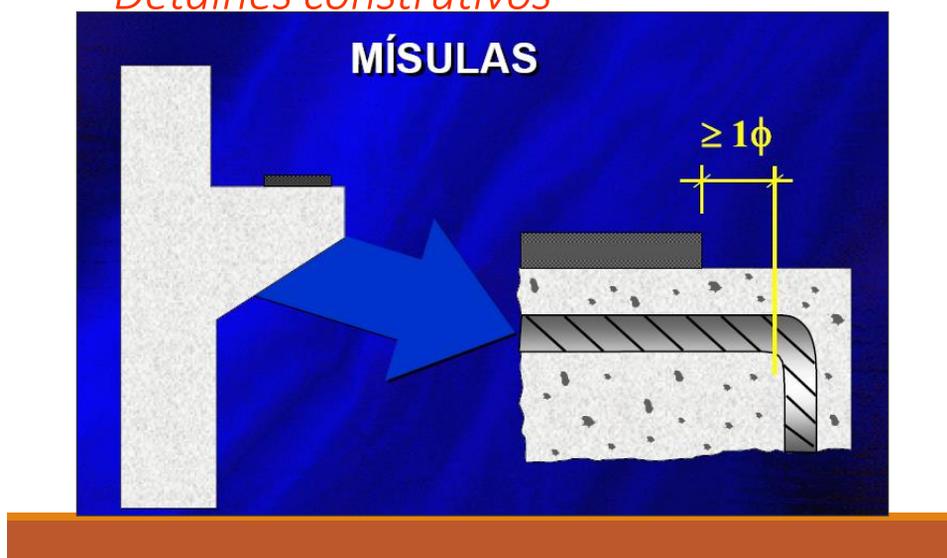
Detalhes construtivos

Lajes em balanço



Fissuração

Detalhes construtivos



CORREÇÃO DE FISSURAS

IDENTIFICAR COM PRECISÃO TODOS OS PROBLEMAS

- ✓ SINTOMAS
- ✓ MECANISMOS DE OCORRÊNCIA
- ✓ ORIGEM, CAUSA E CONSEQUÊNCIA NO COMPORTAMENTO GERAL DA ESTRUTURA

CLASSIFICAÇÃO DAS FISSURAS

ATIVAS (vivas) →

ESTACIONÁRIAS
PROGRESSIVAS

São aquelas
cujas dimensões
variam com o
passar do tempo

PASSIVAS (mortas) →

Quando não há continuidade
ou agravamento em seus
estados

MEDIÇÃO

ABERTURA DE FISSURA

✓ FISSURÔMETRO
✓ CALIBRADORES
✓ PAQUÍMETRO
✓ RÉGUA GRADUADA

PROFUNDIDADE DA FISSURA

✓ ULTRASSOM
✓ EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHO

FORMA E CONFIGURAÇÃO DA FISSURA

MEDIÇÃO



FISSURAS ATIVAS



GARANTIR O MOVIMENTO DA ESTRUTURA

FISSURAS ATIVAS

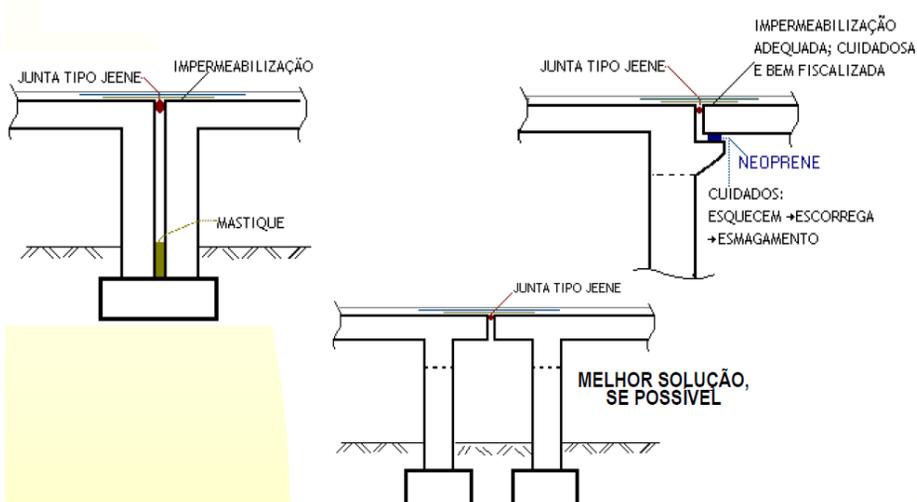
Abertura de berço e preenchimento com selante

SELANTES e MASTIQUES - devem apresentar características de elasticidade e deformabilidade

Natureza do selante	Taxa de trabalho	Largura da junta (cm)
Asfalto à frio	± 3%	20
Asfalto à quente	± 5%	12
Acrílica, vinílica, butílica	± 7 a 10%	6
Polisulfeto, poliuretano	± 20 a 25%	2,4
Silicones	± 20 a 25%	2,4
Preformados (EPM)	± 25%	2,4

Para estruturas de CA com 30m e 40°C de variação de temperatura

Tratamento com junta de dilatação



FISSURAS ATIVAS

Pinturas flexíveis

Uso opcional – tela de náilon ou polipropileno

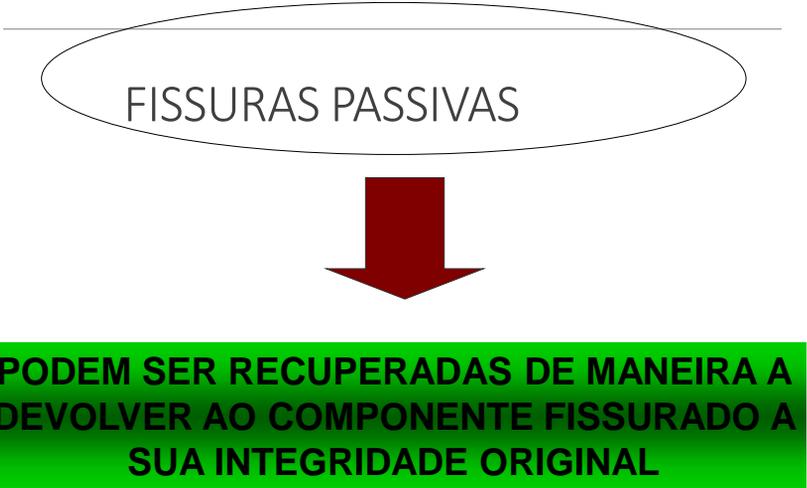


Tintas (acrílicas, por exemplo)
de grande elasticidade,
reforçando-se a película de
pintura com uma fina tela de
náilon

FISSURAS ATIVAS

Procedimentos de execução

- ✓ Limpar a superfície
- ✓ Imprimação localizada no concreto (tinta diluída com água)
- ✓ Aguardar secagem inicial e estender uma tela de náilon de 10 a 20cm de largura, fixando-a com uma nova demão de tinta, igualmente diluída, sobre as fissuras
- ✓ Aplicar o número de demãos necessários sem diluição (intervalo ≥ 1 h)
- ✓ Quando a tinta estiver bem seca, retocar a região reparada com o acabamento usual do componente (textura, pintura à base de PVA...)



FISSURAS PASSIVAS

**PODEM SER RECUPERADAS DE MANEIRA A
DEVOLVER AO COMPONENTE FISSURADO A
SUA INTEGRIDADE ORIGINAL**

FISSURAS PASSIVAS

1. Injeção de resinas

✓ Restabelecer a monoliticidade do elemento de concreto fissurado

TIPOS DE RESINA

- ✓ ACRÍLICA
- ✓ POLIÉSTER
- ✓ EPÓXI

FISSURAS PASSIVAS

PROCEDIMENTO DE INJEÇÃO DE RESINAS

✓ Abertura de furos ao longo da fissura com furadeira elétrica ($d_{\text{máx}}$ 12mm e profundidade $\leq 50\text{mm}$)

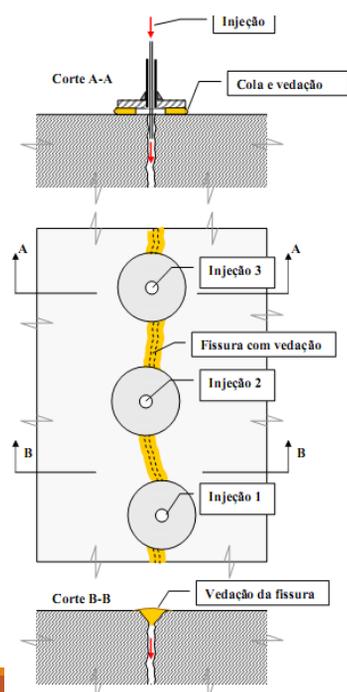
Distância entre furos de 15 a 50cm f(espessura e profundidade da fissura)

✓ Fixar tubos plásticos nos orifícios com adesivos

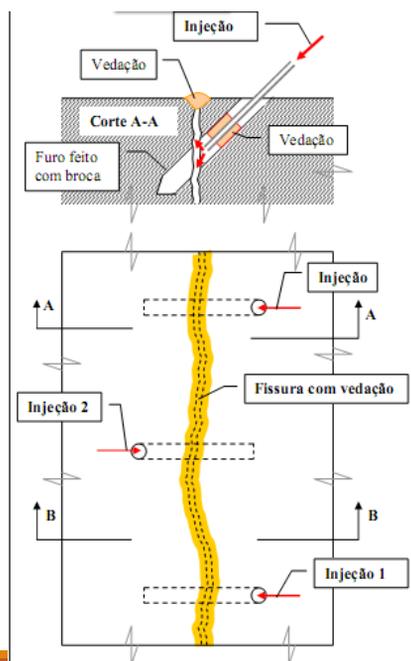
Após decorrido o tempo de 12 a 36 h, fazer um teste com ar comprimido para verificar se existe comunicação entre os furos

✓ injeção por meio de seringa nos furos inferiores para os superiores

✓ cortar os tubos plásticos após 48h junto a face do concreto



Injeção feita na própria fissura



Injeção de fissuras em furos feitos com broca

FISSURAS PASSIVAS

2. Injeção de nata de cimento

CIMENTO + ÁGUA

a/c ~ 0,40 + aditivo plastificante + expansor

FISSURAS PASSIVAS

3. Selagem superficial com epóxi

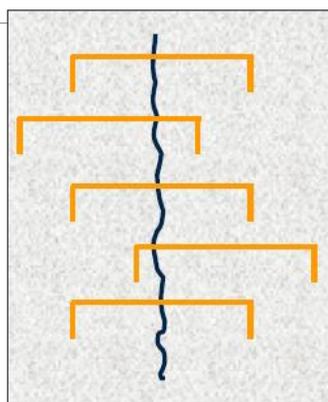
Fissuras superficiais com $e < 0,6\text{mm}$ **PROCEDIMENTO**

- ✓ Abertura em forma de cunha ao longo da fissura numa espessura máxima de 2cm e profundidade máxima de 1cm
- ✓ Limpeza
- ✓ Colmatação da abertura com resinas epóxi pastosas

FISSURAS PASSIVAS

4. Grampeamento

Abertura > 6,3mm



FISSURAS PASSIVAS

5. Encunhamento (cunha metálica a cada 30cm)

6. Revestimentos – tintas flexíveis com uso opcional de tela de náilon ou polipropileno

Exemplos de materiais usados no reforço e recuperação de estruturas de concreto

Material	Principais características	Aplicação
Microconcreto	Fluido, retração compensada, elevada resistência	Reparos e reforços estruturais
Grout	Bombeável, isento de retração, auto-adensável	Fixação de equipamentos, trilhos, reparos etc
Adesivos	Substrato seco, base epóxi, acrílica, PVA	Aderência concreto velho-novo, injeção de fissuras, ancoragem, fixação de apoios estruturais
Argamassa polimérica	Fácil acabamento, boa aderência, tixotrópica, retração reduzida	Reparos superficiais, impermeabilizações
Primer para armadura	Inibidor de corrosão, rico em zinco	Proteção da armadura contra a corrosão
Argamassa de pega rápida	Alta resistência após 1 hora	Recuperação de pavimento de concreto