



MC-Bauchemie Brasil - Av. Laurita Ortega Mari, 531 - Taboão da Serra - SP
C.E.P. 06766-360 - Tel. (55) (11) 4787-4307 - Fax (55) (11) 4787-3185
www.c-bauchemie.com.br - E-mail: info@mc-bauchemie.com.br

IVº. ENCONTRO TÉCNICO

MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DE BARRAGENS

ÊNFASE ESPECIAL PARA:

EQUIPAMENTOS HIDROMECAÑICOS E ESTRUTURAS DE CONCRETO

DIA: 14 DE JUNHO DE 2004

HORÁRIO: 08:30 ÀS 19:00 HORAS

LOCAL: AUDITÓRIO DA SRH / ITAIGARA

FISSURAÇÃO DO CONCRETO : SINTOMATOLOGIA E TERAPIA

Eng. Francisco Rodrigues Andriolo

Texto Original: Janeiro de 1989 (João Pessoa- Paraíba)
Reapresentação: Junho de 2004- Salvador- Bahia



Andriolo Ito Engenharia SC Ltda
Rua Cristalândia 134- 05465-000- São Paulo- Brasil
Fone: ++55-11- 3022 5613 Fax: ++55-11- 3022 7069
e-mail: fandriolo@attglobal.net site: www.andriolo.com.br

1- APRESENTAÇÃO

A sintomatologia avalia os fenômenos dos quais decorrem as enfermidades.

Em presença de um efeito anormal as estruturas de concreto podem reagir com distintos sinais externos que permitem conhecer a enfermidade que afeta a estrutura.

O entendimento desses sinais pode indicar as causas das doenças. Essas causas podem ser por deficiências- falhas:

- + no projeto;
- + na execução;
- + no uso;
- + na conservação ou manutenção, e;
- + também por situações acidentais imprevisíveis.

Nas estruturas, as enfermidades se manifestam por um conjunto de sintomas muito variados tais como:

- + mudança de coloração;
- + expansões;
- + esfoliações e
- + fissuras, que serão objeto deste tema.

No caso das estruturas de concreto a fissuração é um dos sintomas patológicos, mais importantes.

A fissuração é um fenômeno tão antigo quanto o próprio concreto e tem sido motivo de estudo por parte de tecnologistas e, talvez, por essa razão a fissura seja um dos sintomas mais marcantes dos males do concreto armado e/ou massa.

Em todas as construções, onde é empregado o concreto, podem aparecer fissuras, que se manifestam após anos, semanas, dias, ou, inclusive até, após algumas horas.

As causas da fissuração podem ser várias e nem sempre fácil de detectá-las. Conhecê-las, sem dúvida, é importante para saber a razão do seu aparecimento a fim de se poder aplicar uma

terapêutica adequada.

De maneira geral, as mesmas causas produzem tipos análogos de fissuras de tal forma que ao se conhecer uma causa, é possível prever o quadro de fissuras que pode aparecer, e dessa forma esquematizar o fenômeno e avaliar as possíveis consequências, e eventuais ações remediais.

É importante lembrar que fissuras com abertura inferior a 0,05 mm são consideradas como microfissuras por não serem perceptíveis a olho nu e não serem significativas.

As fissuras com abertura entre 0,12 e 0,20 mm não costumam oferecer perigo de corrosão de armaduras, exceto se o meio ambiente for agressivo.

2- CAUSAS E MECANISMOS DA FISSURAÇÃO

Há várias maneiras de ordenar as diversas causas e mecanismos de fissuração. A adotada neste texto, agrupa-as com referência ao endurecimento do concreto.

Assim é que as causas podem ser:

2.1- Anteriores ao Endurecimento do Concreto

2.1.1- Movimentação dos Elementos Auxiliares

Significa a movimentação de formas ou dos elementos suportes, proporcionando um novo vazio, a ser preenchido pelo concreto, ainda plástico.

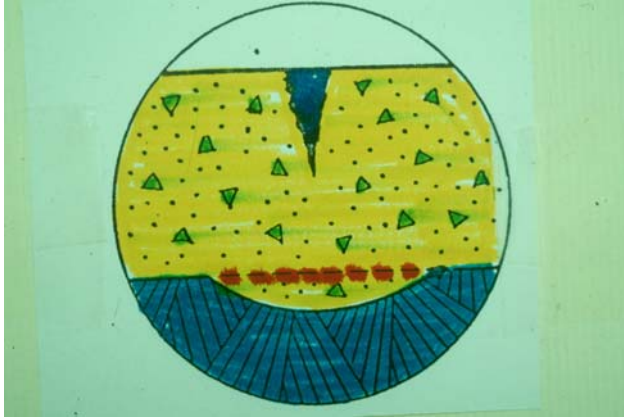


Figura 01- Fissura causada pelo deslocamento da forma ou do suporte.

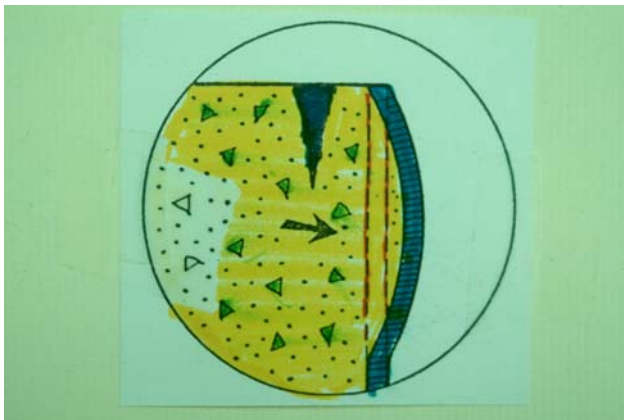


Figura 02- Fissura causada pelo deslocamento lateral da forma.



Figura 03- Fissuras causadas pela subida rápida da forma deslizante, com o concreto ainda plástico.



Figura 04- Aspecto dos danos causados pelo procedimento citado na Figura 03.



Figura 05- Aspectos dos trabalhos de recuperação necessária, decorrente dos danos citados nas Figuras 03 e 04.

2.1.2- Retração por Assentamentos (Assentamento Plástico)

A fissuração por assentamento plástico é ainda desacreditada, por um grande contingente de técnicos. Mas, infelizmente, tal fenômeno existe, é verdadeiro e explicável.

Esse tipo de fissuração pode ocorrer ao redor das barras da armadura, ao redor de agregados, ou seja, ao redor de elementos rígidos.

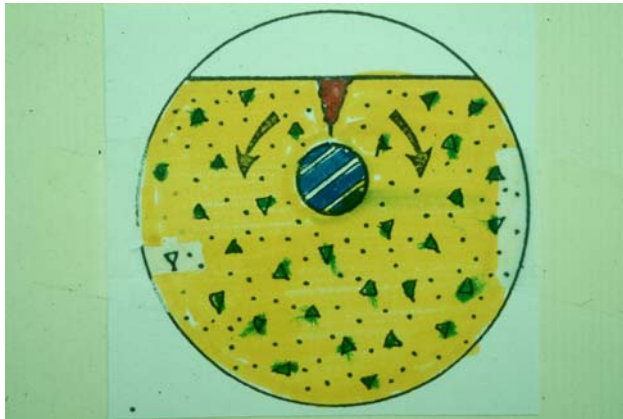


Figura 06- A retração do concreto ao redor da armadura pode causar a fissuração.



Figura 07- Assentamento plástico causando a fissuração ao redor das barras de armação.



Figura 08- Fissuração decorrente do assentamento plástico

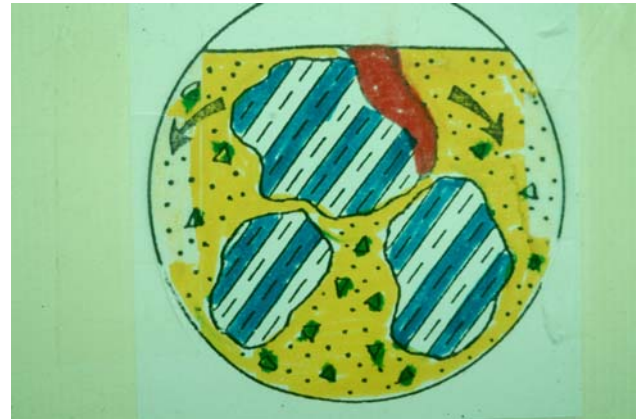


Figura 09- Fissuração causada pela retração ao redor de agregados.



Figura 10- Fissura ao redor do agregado

A retração plástica podem também ocorrer pelo desnivelamento das cabeças de concretagem.



Figura 11- Fissura decorrente do desnivelamento das “cabeças” de concretagem.

2.1.3- Retração por Secagem

A fissuração decorrente da retração por secagem é causada pela rápida evaporação de umidade da

superfície.



Figura 12- Fissuras causadas pela retração por secagem.

Isso não ocorre se a superfície for protegida pela cura por tempo adequado.

2.2- Posteriores ao Endurecimento do Concreto.

2.2.1- Ação Química

A fissuração decorrente de um processo químico pode originar-se por diversas ações particulares, como se cita a seguir.

A fissuração pode ser decorrente da expansão interna resultante da corrosão de embutidos corrosíveis.

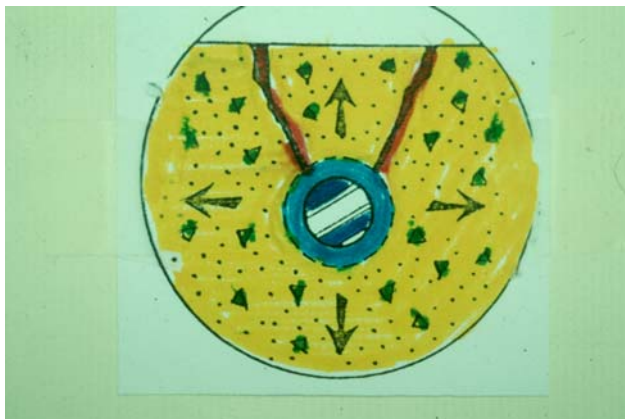


Figura 13- Fissuração causada pela pressão exercida pela oxidação da armadura.

Esse tipo de fissuração pode ser evitado utilizando recobrimento adequado, ou através do emprego de concreto com menor permeabilidade.

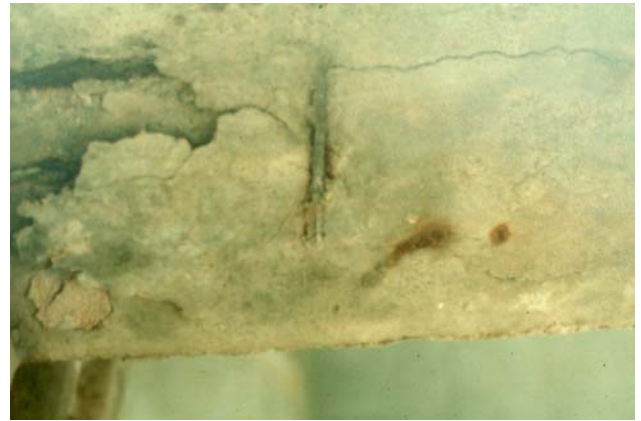


Figura 14- Fissuração decorrente da oxidação da armadura, devido ao recobrimento insuficiente.



Figura 15- Situação decorrente de fissuração por corrosão, devido ao recobrimento insuficiente.

A fissuração e posterior desagregação pode ter origem pela expansão causada pelo ataque aos sulfatos, ou também pela excessiva quantidade de sulfatos.



Figura 16- Expansões excessivas detectadas pela ação do óxido de magnésio, quando da exposição em auto-clave.

Algumas vezes a fissuração pode originar-se pela reação da pasta de cimento com o dióxido de carbono do ar. Isso pode ocorrer com maior intensidade com concretos de alto teor de argamassa e pasta.

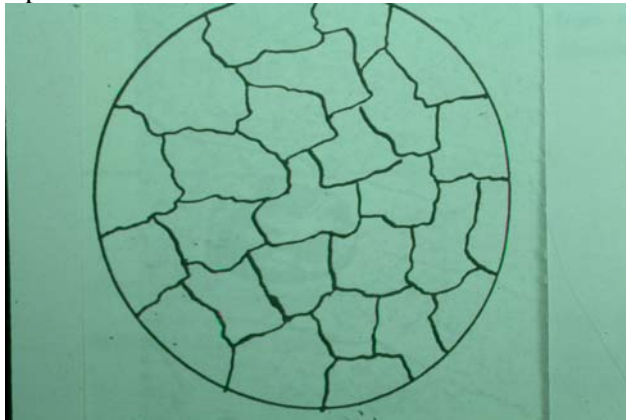


Figura 17- Fissuração do concreto devido a reação do cimento com o dióxido de carbono do ar.

Outro processo que leva à fissuração é o decorrente da reação álcalis do cimento e determinados agregados silicosos.



Figura 18- Gel (Elemento de coloração clara) formado sobre as partículas de agregados.



Figura 19- Gel expansivo formado pela ação dos álcalis do cimento com a sílica dos agregados.

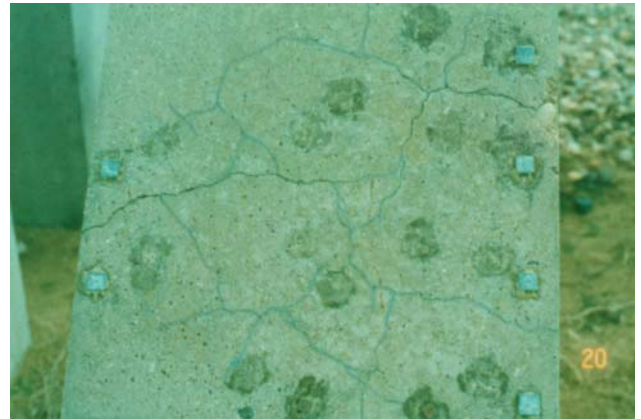


Figura 20- Fissuração decorrente das expansões da reação dos álcalis com agregados silicosos.

2.2.2- Ação Física

A fissuração pode decorrer de um processo físico como o da flutuação (variação) de umidade em conjunto com a ação da temperatura, como ocorre nas regiões que sofrem gelo-degelo.

2.2.3- Concentração de Tensões

A concentração de tensões - em armaduras - na geometria como nas aberturas - e devido à relaxação - pode causar a fissuração.

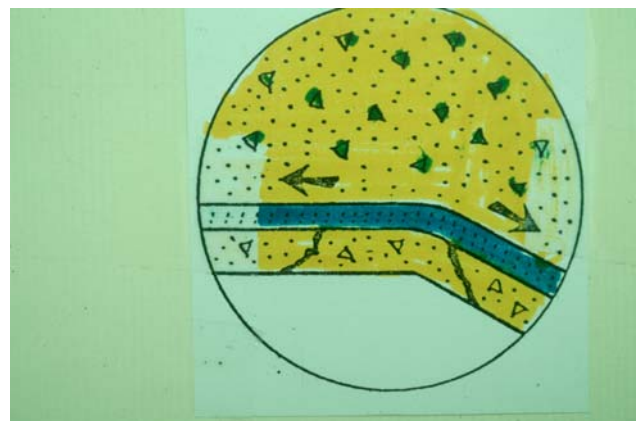


Figura 21- Fissuração causada pela concentração de tensões em barras curvas.

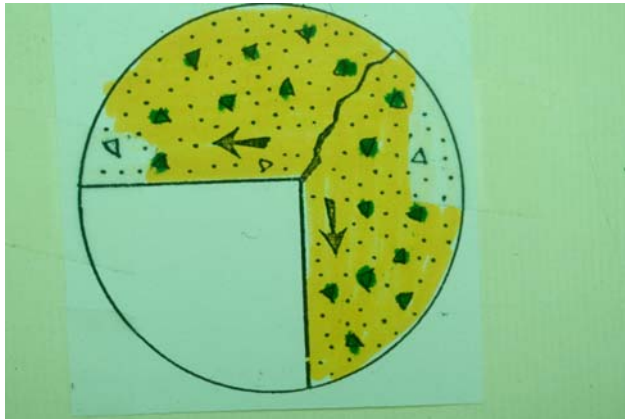


Figura 22- Fissura em ângulo, resultante da concentração da tensão de tração no concreto.

2.2.4 Projeto Estrutural

As deficiências no projeto estrutural podem levar à fissuração e as vezes até a ruína da peça.

Isso pode ocorrer por excesso de carga, não considerado, condições da fundação, deformações diferenciadas.



Figura 23- Fissura em viga protendida, devido à concentração de tensões e à deficiência de fretagens.

A falta de juntas de contração pode levar, também à fissuração.



Figura 24- Fissuras ocorridas em blocos de barragem, devido à geometria da estrutura e à velocidade de concretagem.

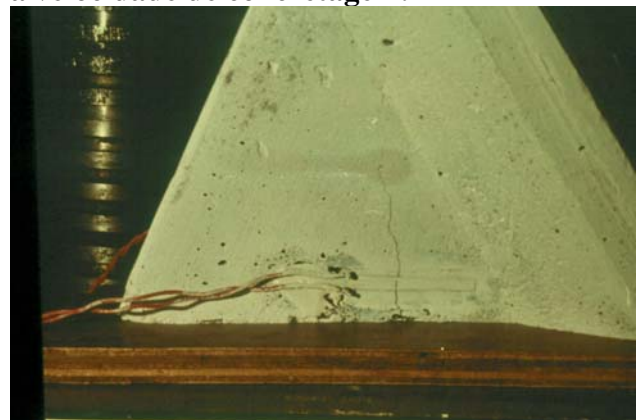


Figura 25- Fenômeno, idêntico ao mostrado na Figura 24, reproduzido em modelo.

2.2.5- Ação Térmica

É evidente que o concreto pode fissurar sempre que a tensão de tração exceder a resistência à tração.

No concreto massa, a tensão de tração decorre principalmente pela variação de temperatura. Entretanto para uma determinada variação de temperatura a tensão térmica decorrente, em diversos casos, pode não ser a mesma, pois pode ser afetada, pela variação no coeficiente de expansão térmica, no módulo de elasticidade (sob carga constante) e no grau de restrição.

Em termos numéricos a magnitude da tensão térmica é, em qualquer caso, o produto de quatro parâmetros:

- ✚ variação da temperatura;
- ✚ coeficiente de expansão térmica;

- + módulo de elasticidade (sob carga constante);
- + grau de restrição.

É evidente que a tendência da fissuração térmica é menor quando:

- + o gradiente térmico, é menor;
- + o coeficiente de expansão térmica é menor;
- + a difusividade é menor;
- + o módulo de elasticidade é menor;
- + o grau de restrição é menor;
- + a resistência à tração é maior.

As tensões térmicas são mais severas junto à fundação devido a grande variação de temperatura e ao elevado grau de restrição.

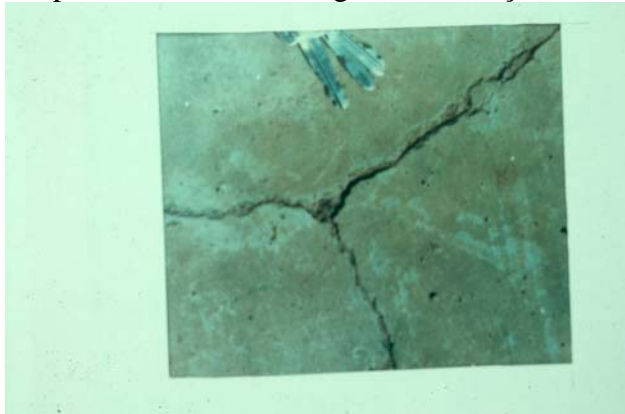


Figura 26- Fissura térmica ocorrida em laje de vertedouro, devido ao elevado teor de aglomerante e “Restrição Plena”



Figura 27- Testemunho (da região mostrada na Figura 26) evidenciando a extensão da fissura.

O cuidado no controle da temperatura é importante para manter a estrutura em níveis seguros, quanto à fissuração.

Vários fatores devem ser considerados para a integridade da estrutura ser mantida:

- + Condições climáticas
 - temperatura de colocação do concreto;
 - condições de exposição durante a construção;
 - condições de exposição durante a operação;
 - temperatura de equilíbrio;
 - variações sazonais da temperatura.
- + Composição do concreto fator água/aglomerante;
 - tipo e quantidade do cimento;
 - tipo e característica do agregado;
 - características térmicas do concreto;
 - propriedades físicas do concreto.
- + Requisitos de projeto e construção
 - forma e dimensão da seção (ver figuras 24 e 25);
 - juntas de contração;
 - formas e remoção das formas;
 - cura;
 - condições para reduzir a temperatura de colocação;
 - resfriamento;
 - outros expedientes para reduzir a temperatura;
- + Velocidade de construção
 - espessura das camadas;
 - intervalo de tempo entre camadas (ver Figuras 24 e 25)
 - Tempo de exposição das juntas de contração;
 - limitações sazonais para a colocação da temperatura.
- + Características da fundação
 - temperatura;
 - características térmicas;
 - perfil e preparo.

3- FATORES QUE AFETAM A FISSURAÇÃO

Vários fatores podem afetar a fissuração entre os quais se cita:

3.1- Água

A quantidade de água é um fator importante. Quanto mais água, no concreto, maior a tendência à fissuração. A água aumenta a tendência de retração por secagem e reduz a resistência.

3.2- Cimento

O tipo e o teor de cimento é também um fator importante. De maneira geral concretos mais "ricos" fissuram mais.

3.3- Agregados

A composição mineral, forma, textura e graduação dos agregados podem afetar a composição, o coeficiente de expansão térmica, a difusividade, a retração por secagem, a fluência, e a resistência do concreto

Quando menor o tamanho máximo do agregado maior a tendência à retração (por ter um teor de água maior e um maior consumo de aglomerante).

3.4- Aditivos

Os tipos e quantidades de aditivos afetam o comportamento dos concretos.

3.5- Colocação e Adensamento

Os processos, velocidades e condições de colocação e adensamento sem dúvidas afetam ou produzem efeitos sobre o comportamento do concreto.

3.6- Cura

As condições de cura - temperatura e umidade - podem afetar o comportamento do concreto e a decorrente ausência de fissuras.

3.7- Temperatura

A temperatura afeta as condições de evolução da resistência do concreto, bem como o comportamento quanto a fissuração térmica.

3.8- Exposição

O ambiente ao qual o concreto esta exposto é de extrema importância para o desempenho da estrutura.

3.9- Restrição

As condições de restrição da fundação ou entre camadas são elementos que afetam a fissuração.

4- EXEMPLOS DIVERSOS

As figuras a seguir mostram situações diversas de ocorrência de fissuras.

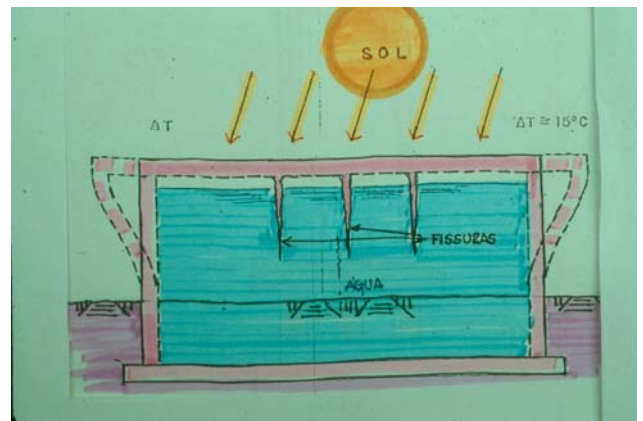


Figura 28-

- + Tipo de Estrutura: Reservatório não enterrado exposto a insolação.
- + Fissuração: Fissuras verticais na parte superior das paredes.
- + Causa: Acréscimo de temperatura na laje superior, devido a insolação.
- + Solução: Isolar termicamente a laje superior e/ou proteger as paredes e a laje superior e a impermeabilizar as fissuras.

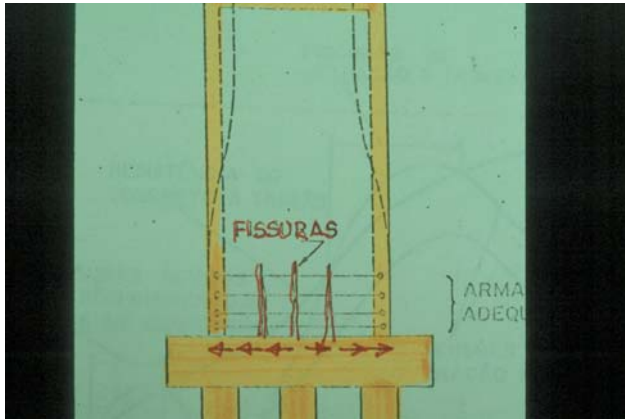


Figura 29

- ✚ Tipo de Estrutura: Pilares com paredes esbeltas.
- ✚ Fissuração: Fissuras verticais nas paredes junto às fundações.
- ✚ Causa: A retração nas paredes esbeltas. é mais rápida do que a na fundação. A parede é impedida de retrair pela fundação e fissa.
- ✚ Solução: Armadura adequada e velocidade de colocação ajustada para reduzir a restrição.

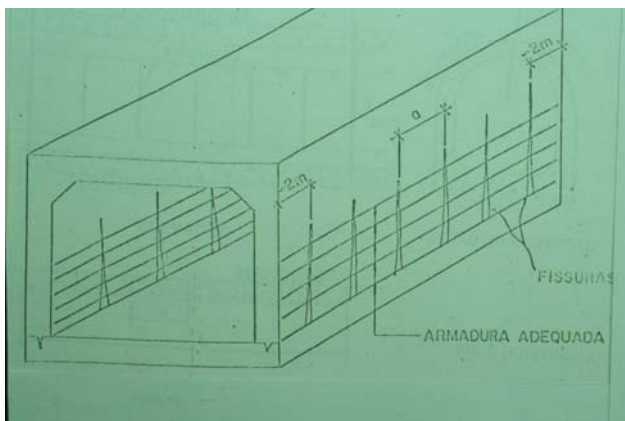


Figura 30

- ✚ Tipo de Estrutura: Galerias
- ✚ Fissuração: Fissuração verticais na parte inferior das paredes.
- ✚ Causa: Retração das paredes, diferenciada da retração da laje de fundo;
- ✚ Solução: Colocar armadura adequada e reduzir a restrição.

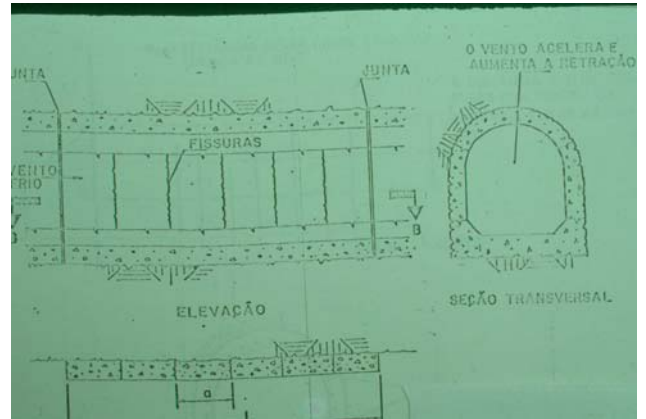


Figura 31

- ✚ Tipo de Estrutura: Revestimento de concreto em túnel de rocha.
- ✚ Fissuração: Fissuras verticais nas paredes.
- ✚ Causas: Teor de cimento, resfriamento rápido da superfície do concreto, restrição da movimentação devido à rocha.
- ✚ Soluções: Adequar armadura (para redistribuir as fissuras), reduzir o teor de cimento, reduzir o resfriamento, reduzir a restrição.

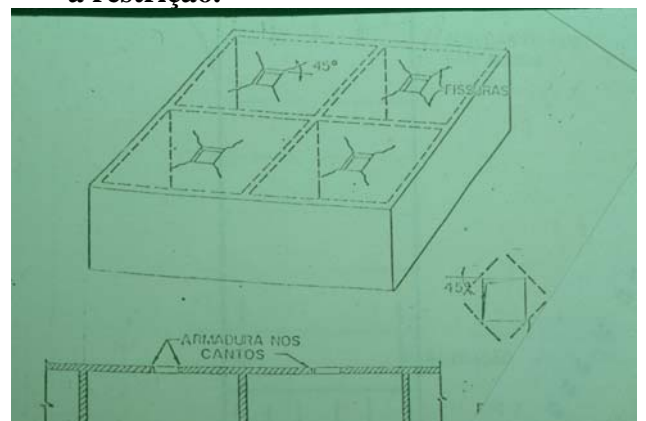
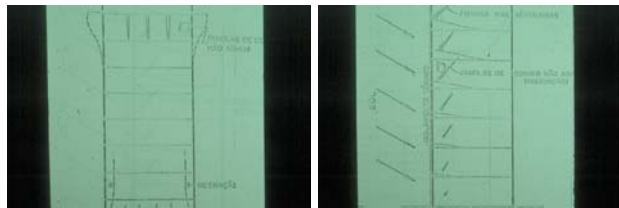


Figura 32

- ✚ Tipo de Estrutura: Lajes de concreto armado com aberturas em estruturas tipo caixa.
- ✚ Fissuração: Fissuras a 45° nos cantos das aberturas.
- ✚ Causa: A laje sofrendo variação de temperatura e sendo impedida de deformar-se, devido as paredes, fica sujeita a um estado plano de tensão, levando à fissuração nos cantos.
- ✚ Solução: Colocar armadura para limitar a abertura das fissuras.



Figuras 33

- ✚ Tipo de Estrutura: Paredes de concreto em edifícios.
- ✚ Fissuração: Fissuras verticais junto à fundação e à laje de cobertura:
- ✚ Causas: Junto a fundação - restrição
Junto a cobertura - variação da temperatura ambiente.
- ✚ Soluções: Junto à fundação - armadura, junto à cobertura - isolamento térmico.

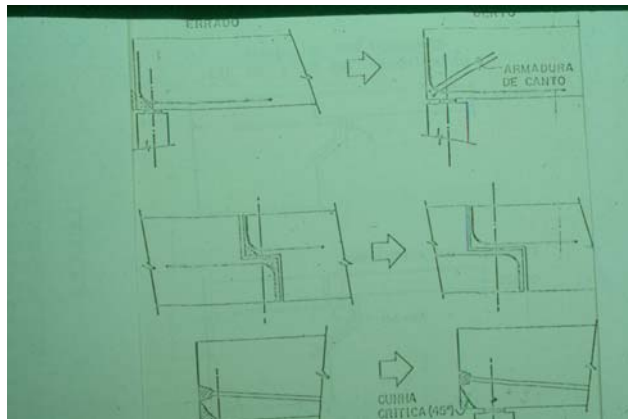


Figura 34

- ✚ Tipo de Estrutura: Pontes de concreto armado ou protendido.
- ✚ Fissuração: Fissuras inclinadas a 45° tangentes à armadura dobrada ou à placa de ancoragem dos cabos de protensão.
- ✚ Causa: Falta de armadura no canto da viga onde há grandes tensões de compressão.
- ✚ Solução: dimensionar o apoio com largura adequada.

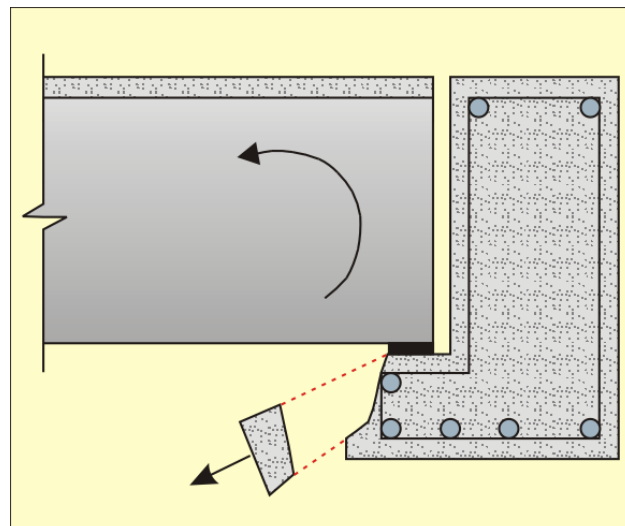


Figura 35

- ✚ Tipo de Estrutura: Consolos de apoio.
- ✚ Fissuração: Fissuras verticais em diferentes posições dos consolos.
- ✚ Causa: Detalhamento inadequado das armaduras dos consolos, não considerando os esforços de retração (térmica) e de rotação.
- ✚ Soluções: Detalhar a armadura adequadamente usar um apoio recuado em relação ao bordo do consolo.

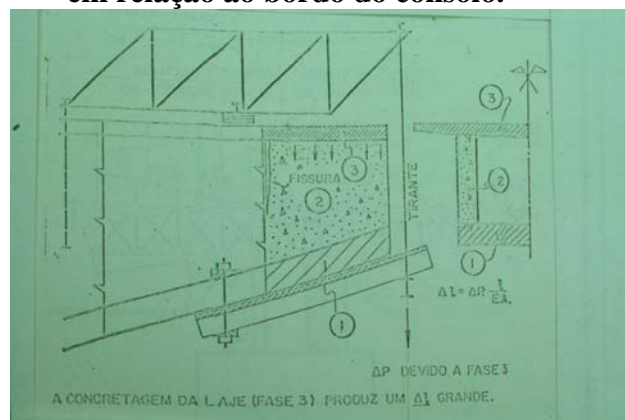


Figura 36

- ✚ Tipo de Estruturas: Pontes em balanços sucessivos.
- ✚ Fissuração: Fissuras verticais na alma da viga.
- ✚ Causa: Ao se concretar a laje superior há um acréscimo de esforço no tirante, e uma conseqüente rotação do segmento concretado.
- ✚ Solução: Usar tirante de seção adequada, com rigidez compatível.

CONDIÇÕES LIMITES

As condições aceitáveis para o convívio com fissuras são resumidas abaixo:

Condições indicadas na NB-1

Ambiente de Exposição do Projeto	Abertura Máxima da Fissura (mm)
Elementos internos em atmosfera normal	0,3
Elementos internos em atmosfera agressiva	0,2
Elementos externos com intemperies	0,2
Elementos internos e externos com ambientes agressivos	0,1

Condições indicadas no item 13.3.2 na NBR-6118

“...Na ausência de uma exigência específica, como por exemplo impermeabilidade, no caso de peças de edifícios usuais, pode ser adotado o valor de 0,3 mm como máxima abertura de fissura para as classes de agressividade II a IV...”

“...Para classe de agressividade I, esse valor pode ser relaxado, se não houver nenhum outro comprometimento, admitindo-se 0,4 mm como limite...”

Classe de agressividade	pH	CO ₂ agressivo mg/L	Amônia NH ₄ ⁺ mg/L	Magnésia Mg ₂ ⁺ mg/L	Sulfato SO ₄ 2-mg/L	Sólidos dissolvidos mg/L
I	> 6,0	< 20	< 100	< 150	< 400	> 150
II	5,9 - 5,9	20 - 30	100 - 150	150 - 250	400 - 700	150 - 50
III	5,0 - 4,5	30 - 100	150 - 250	250 - 500	700 - 1500	< 50
IV	> 4,5	> 100	> 250	> 500	> 1500	< 50

NOTAS:

- 1- No caso de solos, a análise deve ser feita no extrato aquoso do solo.
- 2- Água em movimento, temperatura acima de 30°C, ou solo agressivo muito permeável conduz a um aumento de um grau na classe de agressividade.
- 3- Ação física superficial tal como abrasão e cavitação, aumenta a velocidade de ataque químico.

RESUMO

A sintomatologia e terapia da fissuração podem ser resumidas como mostra a Figura 37.

CAUSA	ÉPOCA PROVÁVEL DE FORMAÇÃO	FORMA E TIPO	MANEIRA DE MINIMIZAR
Evaporação rápida	Poucas horas após a colocação.	Pele de crocodile	Proteção contra insolação e Cura
Assentamento Plástico	Poucas horas após a colocação	Ao longo das linhas da armadura, e mudanças de seção	Concreto de menor trabalhabilidade (compatível com a armadura) e Revibração
Efeitos térmicos	Variáveis	Largas junto a fundação ou zonas de maior restrição.	Podem ser reduzidas, como se cita nos itens 2 e 3
Retração	Variáveis	Similar às de flexão e tração.	Revibração. Armação adequada
Corrosão	Vários meses	Ao longo das armaduras.	Aumentar o recobrimento. Reduzir a Permeabilidade
Reação Alcalis Sílica	Vários meses	"Casco de Tartaruga".	Uso de material pozolânico
Cargas e Acidentes	Variáveis	Casos específicos	Adotar "Vacina" adequada!!

Figura 37 - Resumo de alguns fenômenos de fissuração.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. “Control of Cracking in Concrete Structures” - ACI Journal;
2. “Crack in Concrete: Causes and Prevention” - Concrete Construction Magazine
3. *Clarence Rawhouser* – “Cracking and Temperature Control of Mass Concrete” – Journal A.S.C.E – February – 1945.
4. *Peter L. Critchell* – “Joints and Cracks in Concrete”
5. *Eduardo Thomaz* – “Fissuração Causas Reais” – Junho – 1987.
6. *Manuel Fernandez Canovas* – “Patologia e Terapia do Concreto Armado” – Editora Pini – 1988.
7. *Francisco Rodrigues Andriolo* – “Construções de Concreto Manual de Práticas para Execução e Controle” Editora Pini – 1984.
8. *Francisco Rodrigues Andriolo* – *Luécio Scandiuzzi* – “Concreto e Seus Materiais – Ensaio e Propriedades” – Editora Pini – 1987.
9. *Francisco Rodrigues Andriolo* – *Tadeusz Skwarczynsk* – “Concreto Pré-Refrigerado no Brasil – Uma Evolução com Mais de 20 Anos” – 1989.