

Francisco Rodrigues Andriolo
Engenheiro Civil

FISSURAÇÃO DO CONCRETO: SINTOMATOLOGIA E TERAPIA

JANEIRO - 1989 - JOÃO PESSOA - PB - BRASIL

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. Esas causas podem ser por deficiências -

- no projeto;
- na execução;
- no uso;
- na conservação ou manutenção;
e também por situações accidentais 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 detecta-las. Conhece-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.

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 constumam oferecer perigo de corrosão de armaduras, salvo 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.

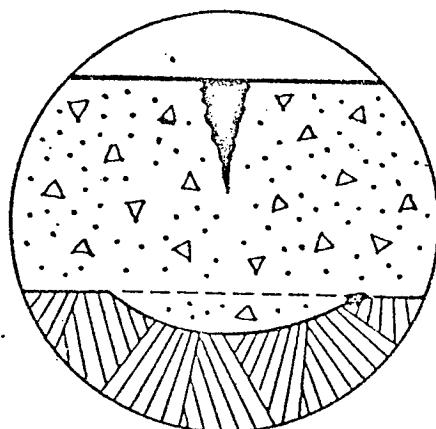


Figura 1

Fissura causada pelo deslocamento da forma ou do suporte

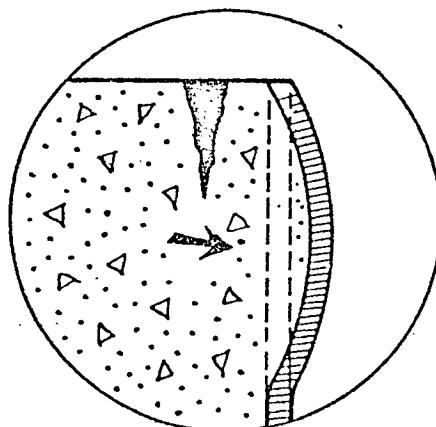


Figura 2

Fissura causada pelo deslocamento lateral da forma



Figura 3

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

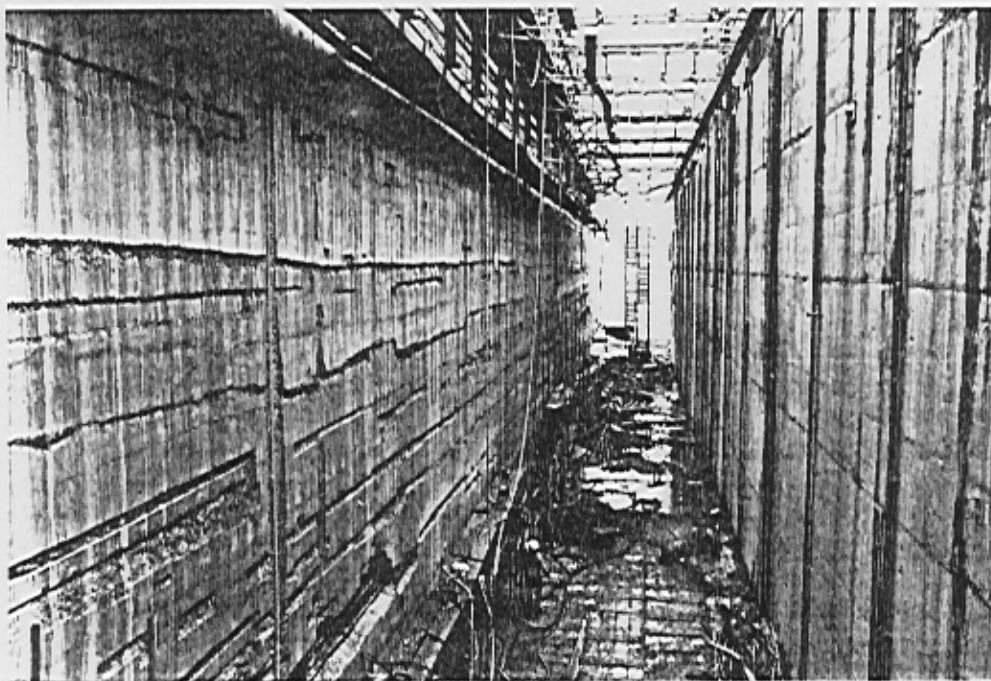


Figura 4

Aspecto dos danos causados pelo procedimento citado na Figura 3.

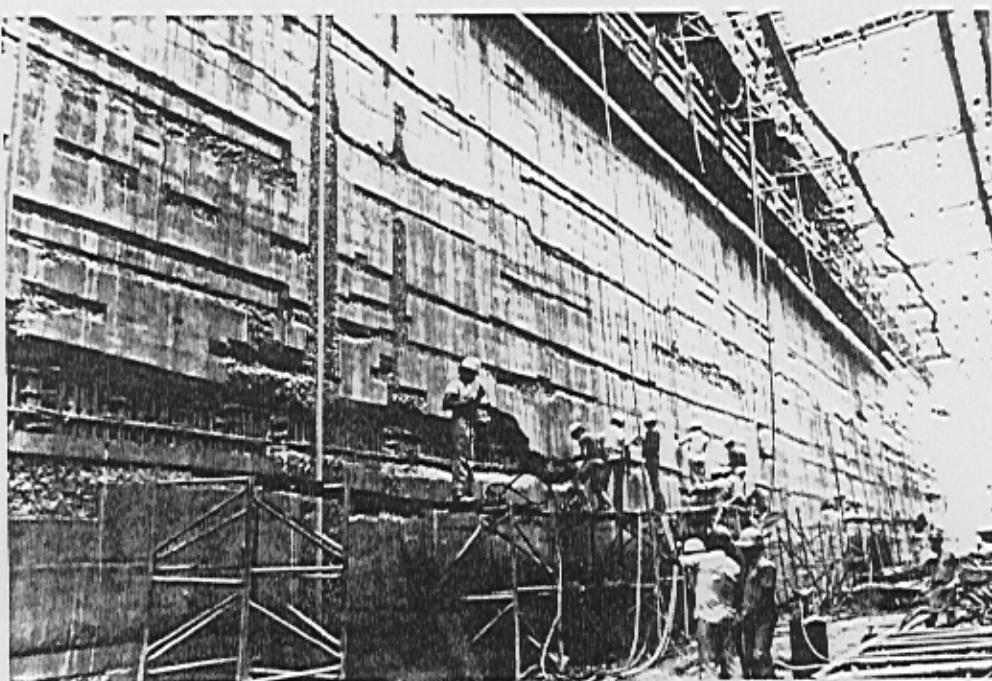


Figura 5

Aspecto dos trabalhos de recuperação necessária, decorrente dos danos citados nas Figuras 3 e 4.

2.1.2 Retração por Assentamento (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.

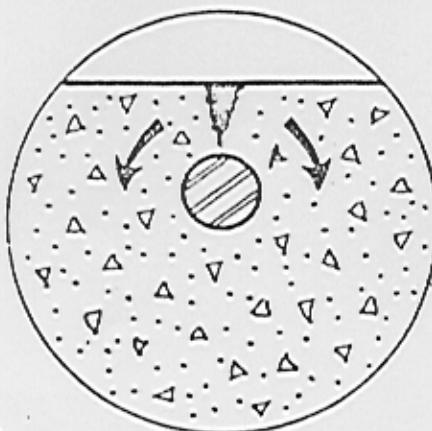


Figura 6

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

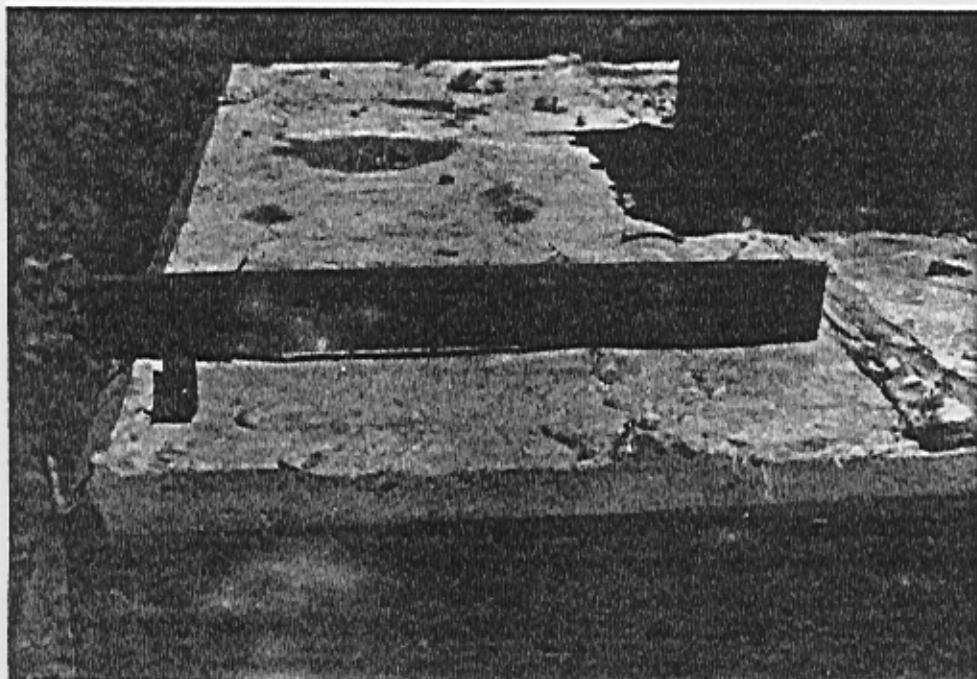


Figura 7

Assentamento plástico proporcionando a fissuração ao redor das Baras da armação.

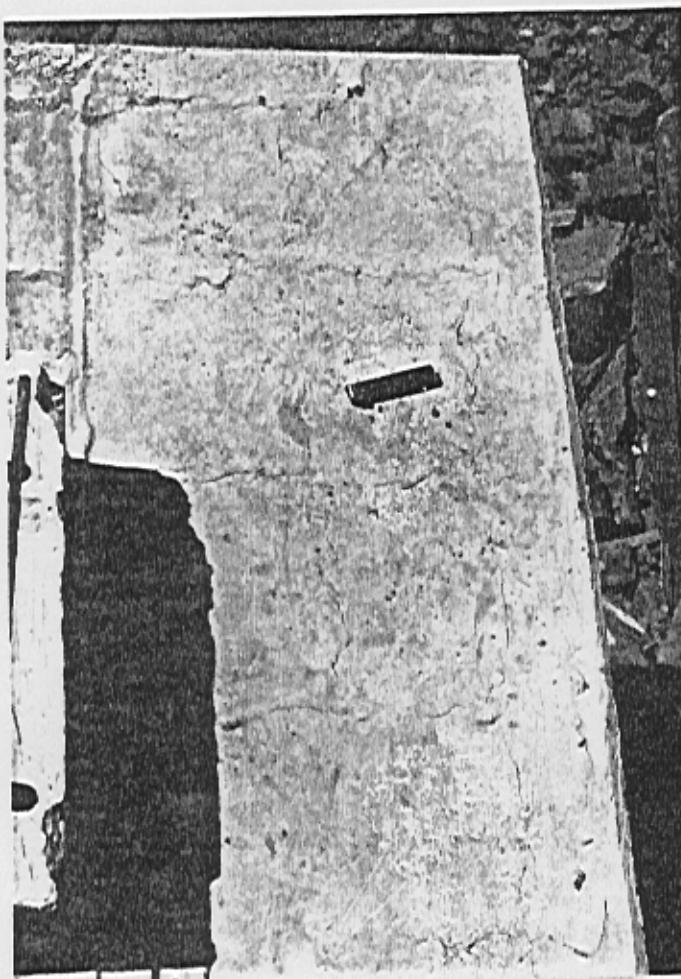


Figura 8

Fissuração decorrente do assentamento plástico.

Este tipo de fissuração decorre pelo assentamento de regiões de concreto ainda plástico, e o simultâneo enrigecimento parcial da camada superficial do concreto.



Figura 9

Fissuração causada pela retração ao redor de agregados.

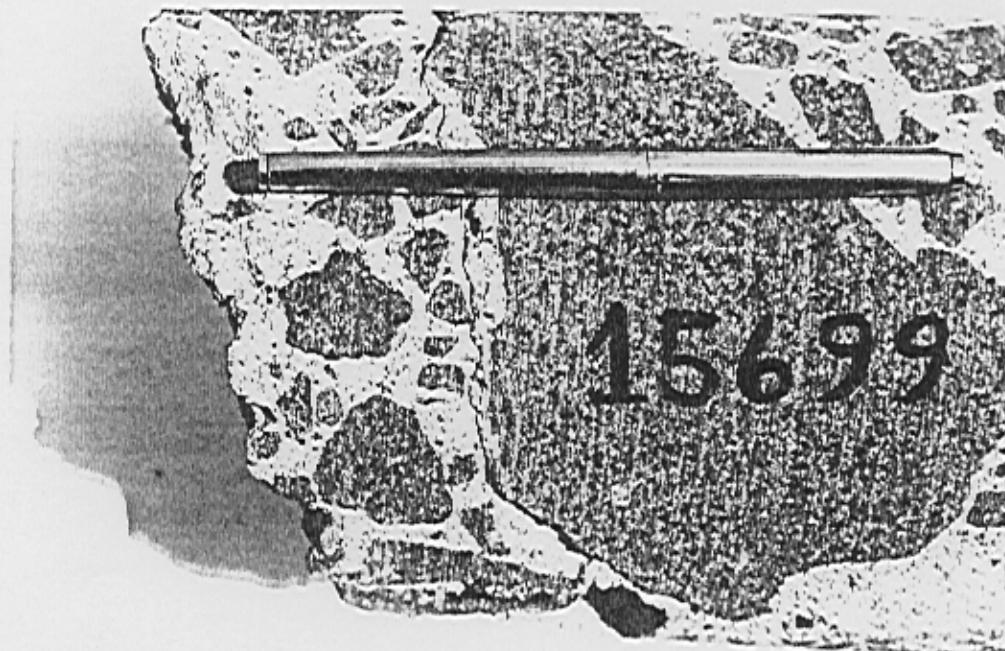


Figura 10

Fissura ao redor de agregado.

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



Figura 11

Fissura decorrente do desnivelamento das "cabeças" de concregagem.

2.1.3 Retração por Secagem

A fissuração decorrente da retração por secagem é causada pela rápida evaporação de umidade da superfície do concreto.

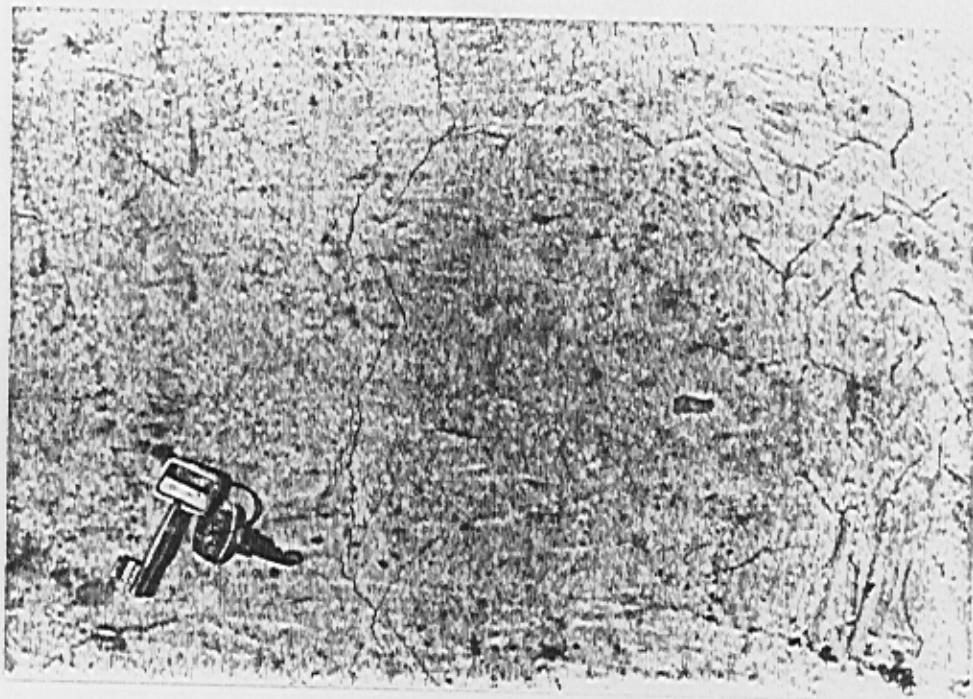


Figura 12

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.

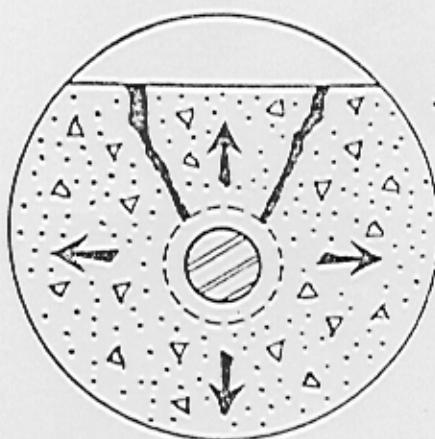


Figura 13

Fissuração causada pela pressão exercida pela oxidação da armadura.

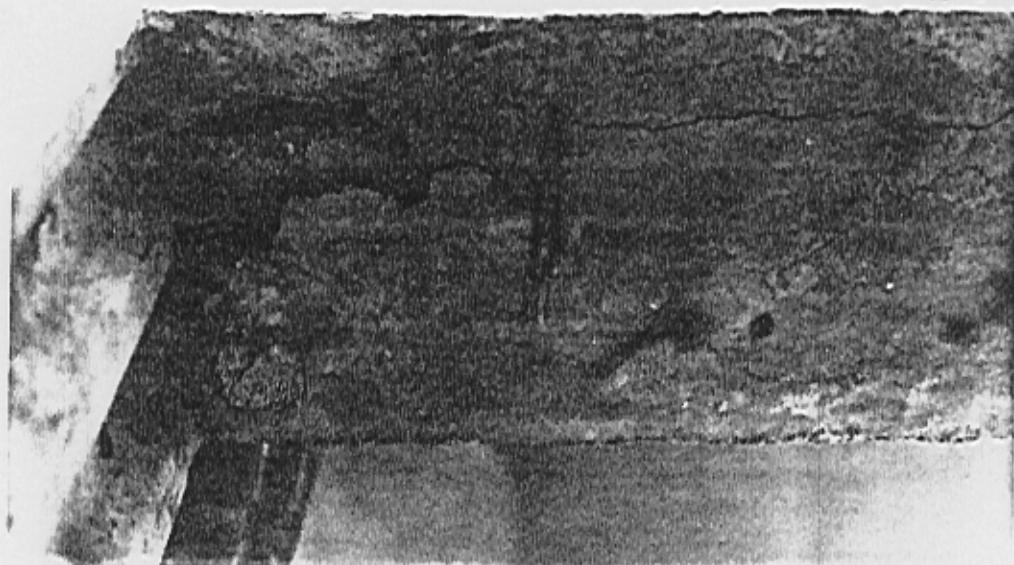


Figura 14

Fissuração decorrente da oxidação da armadura, devido ao recobrimento insuficiente.

Esse tipo de fissuração pode ser evitado utilizando recobrimento adequado.

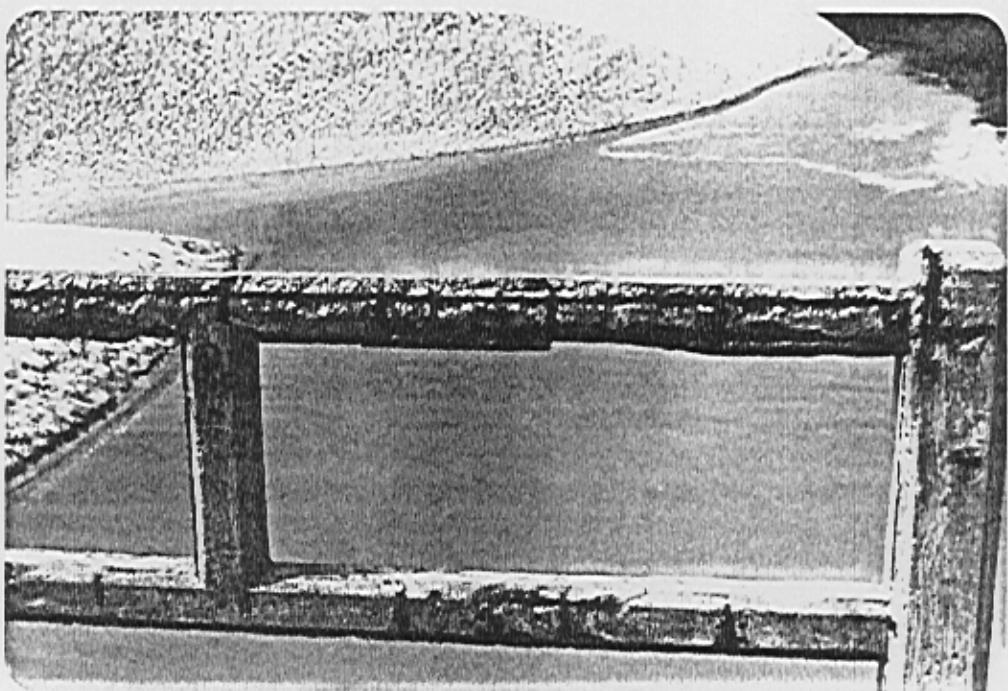


Figura 15

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 expansão causada pela excessiva quantidade de sulfatos.

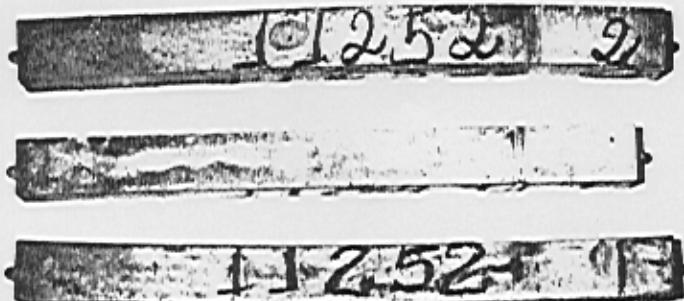


Figura 16

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.

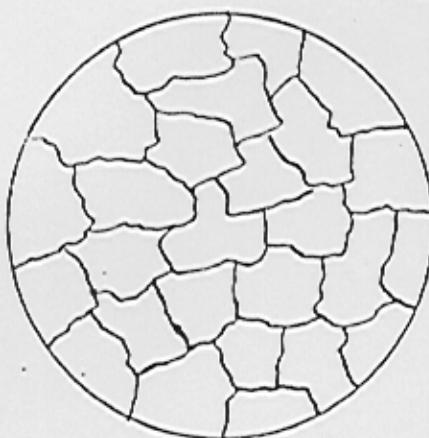


Figura 17

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 dos álcalis do cimento e determinados agregados silicosos.

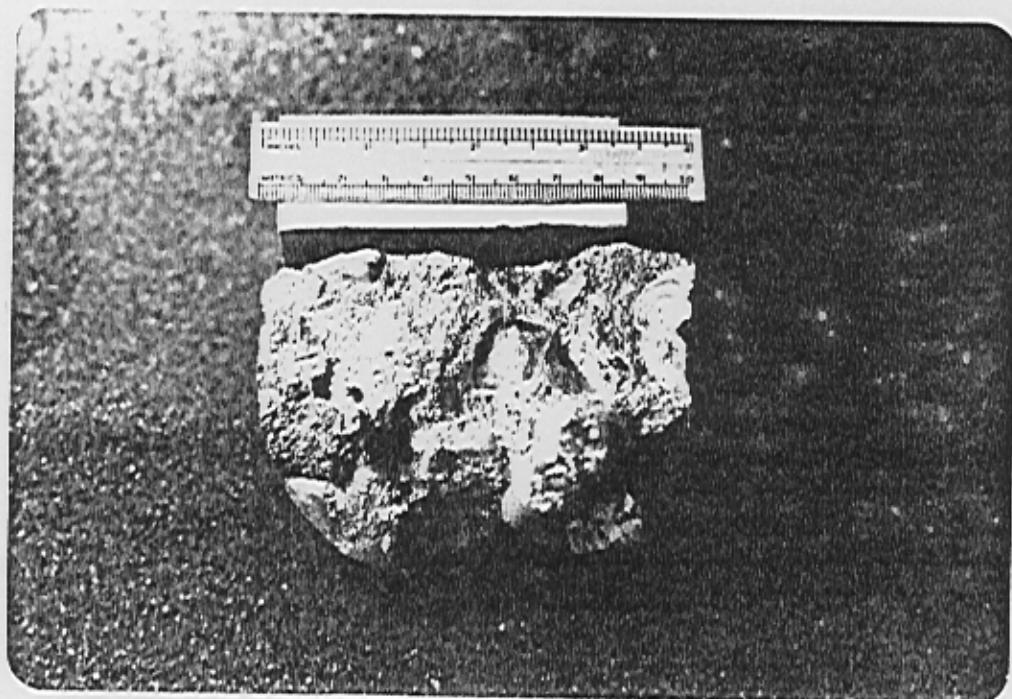


Figura 18

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

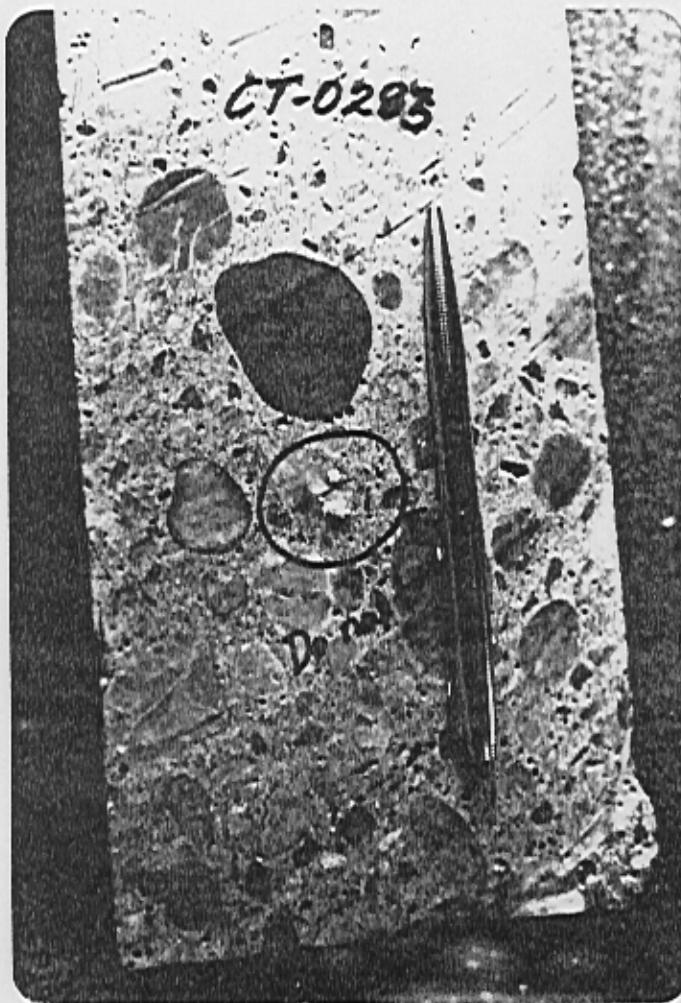


Figura 10

Gel expansivo formado pela reação dos álcalis do cimento com a sílica dos agregados.

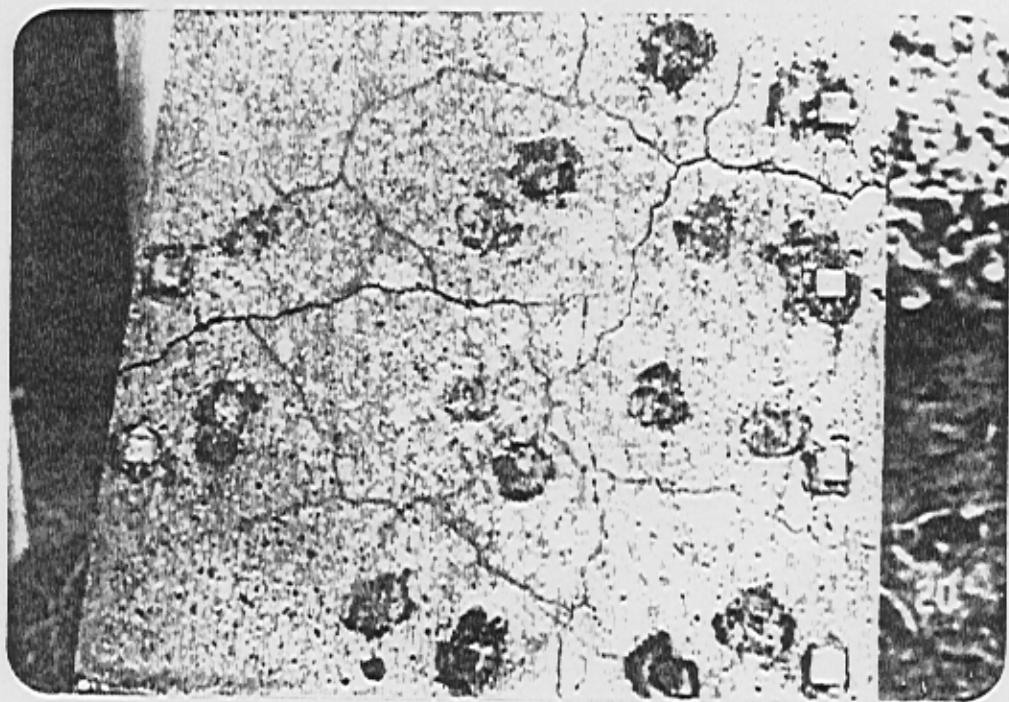


Figura 20

Fissuração decorrente das expansões da reação dos álcalis com agregados sílicosos.

2.2.2 Ação Física

A fissuração pode decorrer de um processo físico como o da flutuação 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.

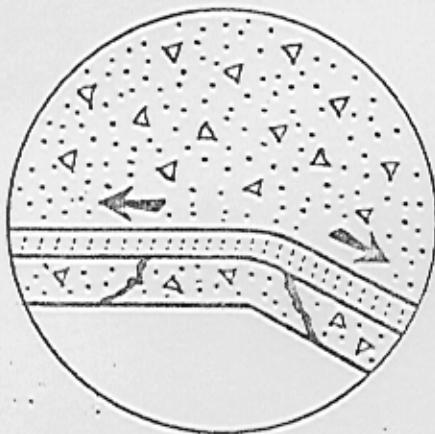
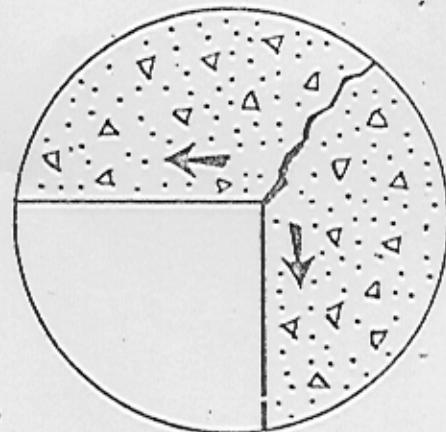


Figura 21

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 às vezes até a ruina da peça.

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

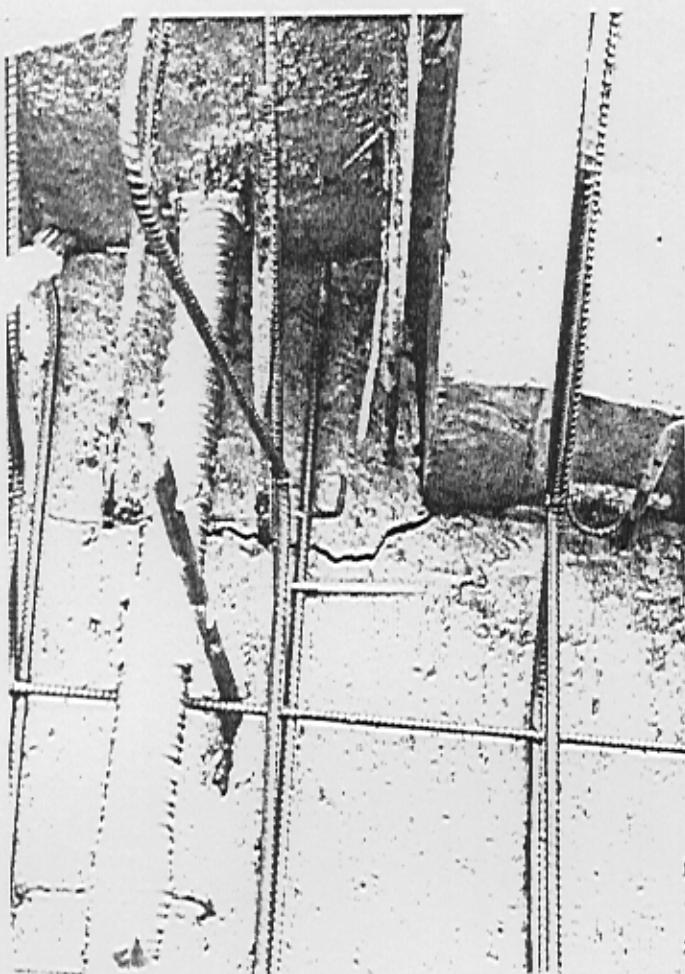


Figura 23

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.

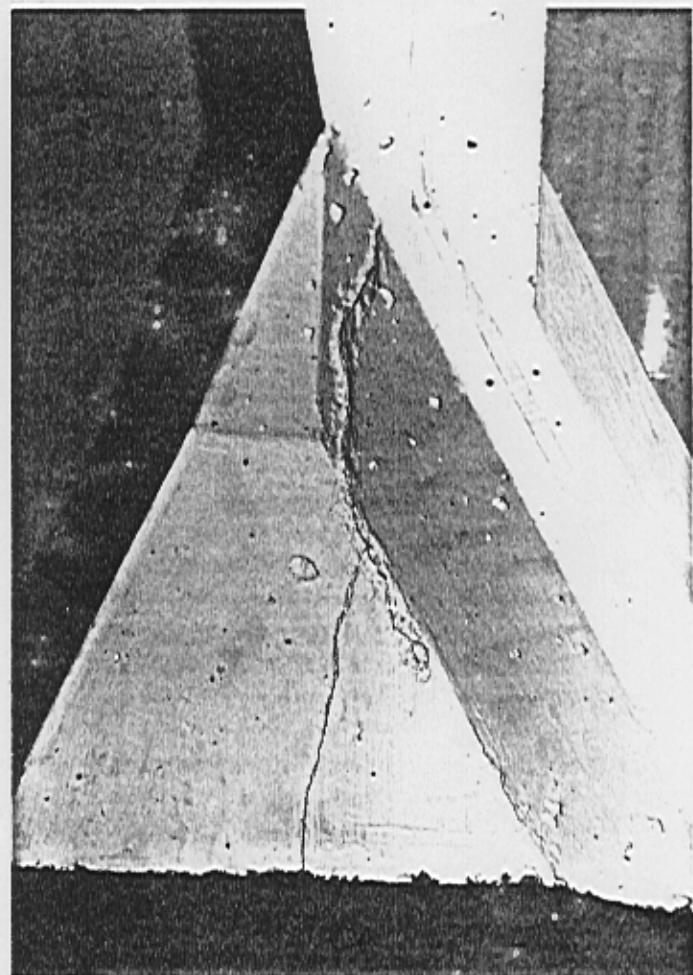


Figura 25

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 graú de restrição.

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

- variação da temperatura;
- coeficiente de expansão térmica;
- módulo de elasticidade (sob carga constante);
- graú 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;
- o módulo de elasticidade é menor;
- o graú de restrição é menor;
- a resistência a tração é maior.

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



Figura 26

Fissura térmica ocorrida em laje de vertedouro, devido ao elevado teor de aglomerante.

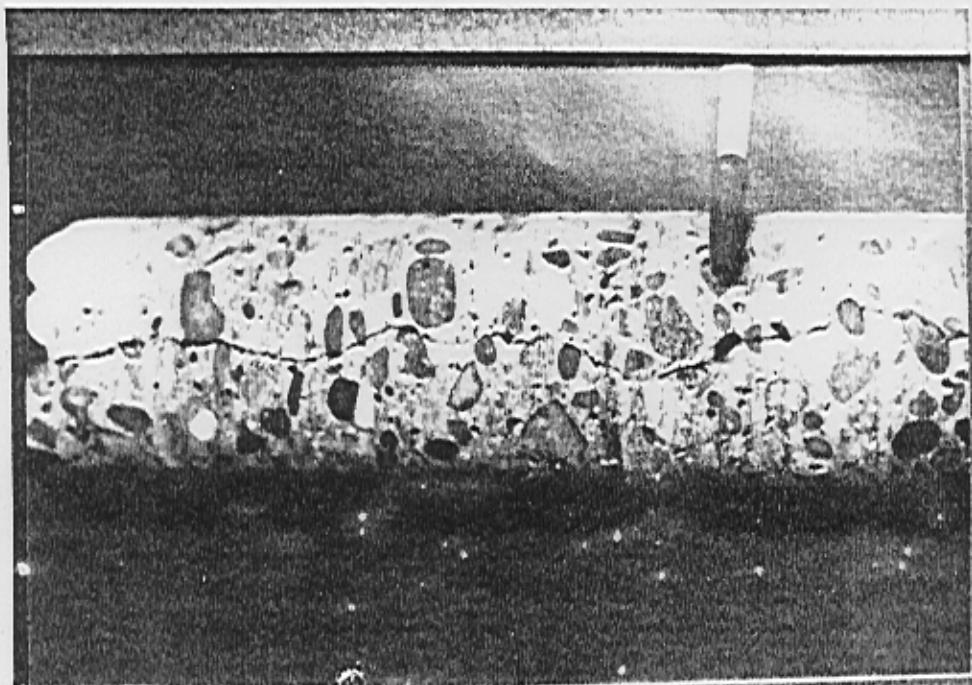


Figura 27

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.

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 dúvida afetam ou produzem efeitos sobre o comportamento do concreto.

3.6 Cura

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

3.7 Temperatura

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

3.8 Exposição

O ambiente ao qual o concreto está exposto é de extrema importânci a para o desempenho da estrutura.

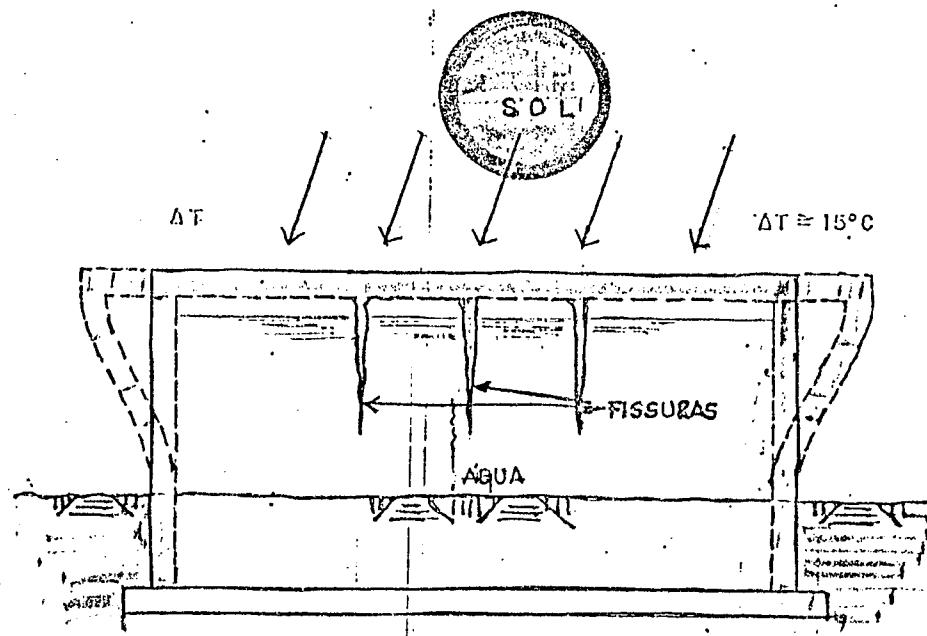
3.9 Restrição

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

4. EXEMPLOS DIVERSOS

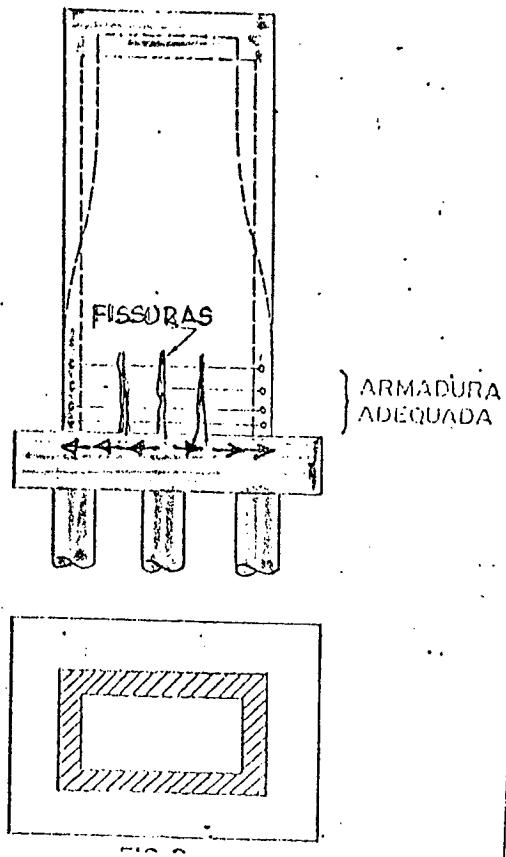
As figuras a seguir mostram situações diversas de ocorrência de fissuras.

FIGURA 28



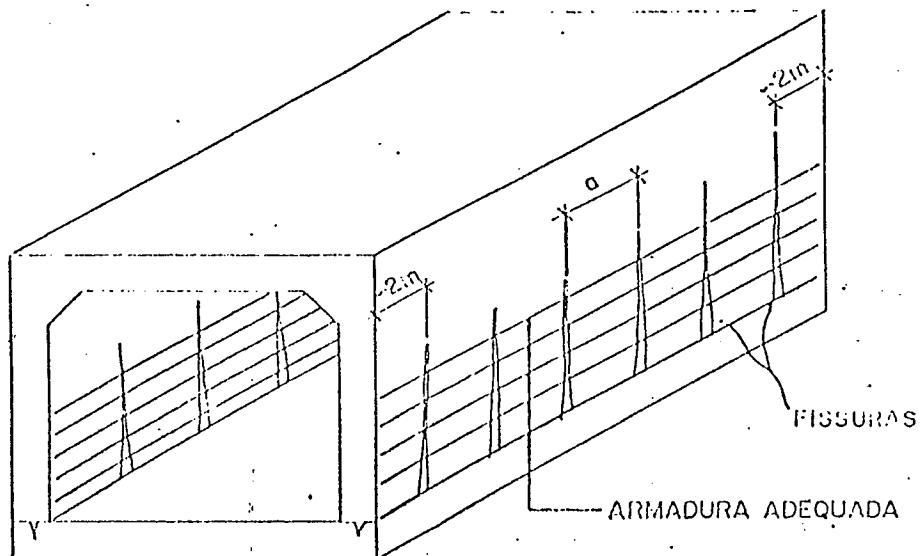
- * Tipo de estrutura : Reservatório não enterrado exposto a insolação.
- * Fissuração : Fissuras verticais na parte superior das paredes.
- * Causa : Acréscimo de temperatura na laje superior, devido a insolação.
- * Solução : Isolar termicamente a laje superior e/ou protender as paredes e a laje superior. 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 fissura.
- * Solução : Armadura adequada e velocidade de colocação ajustada para reduzir a restrição.

FIGURA 29



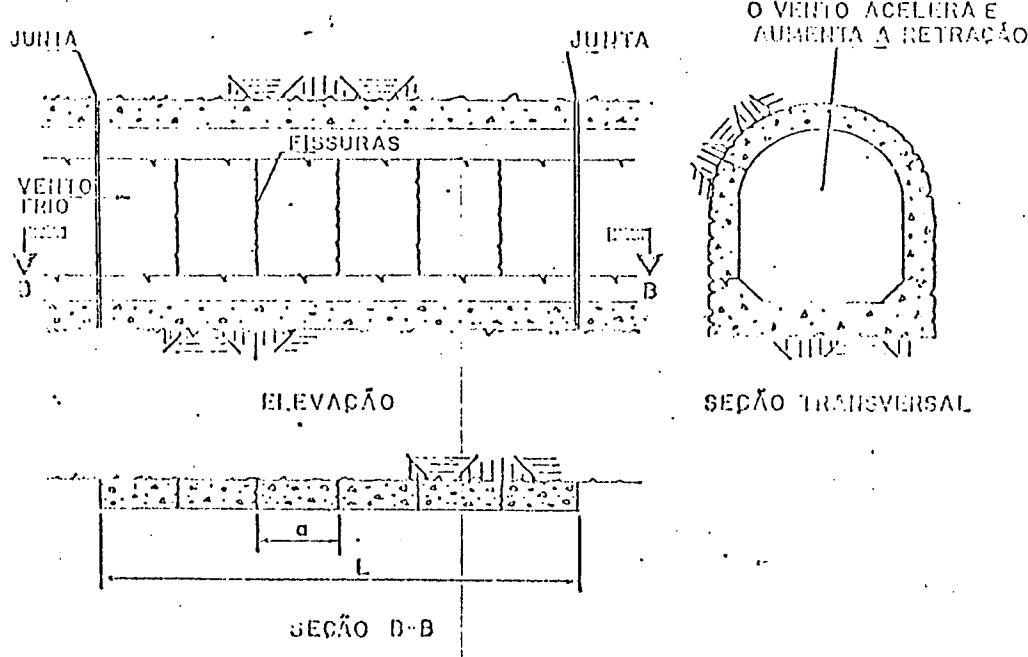
* Tipo de Estrutura : Galerias

* Fissuração : Fissuração verticais na parte inferior das paredes.

* Causa : Retração das paredes, diferenciada da retração da laje de fundo.

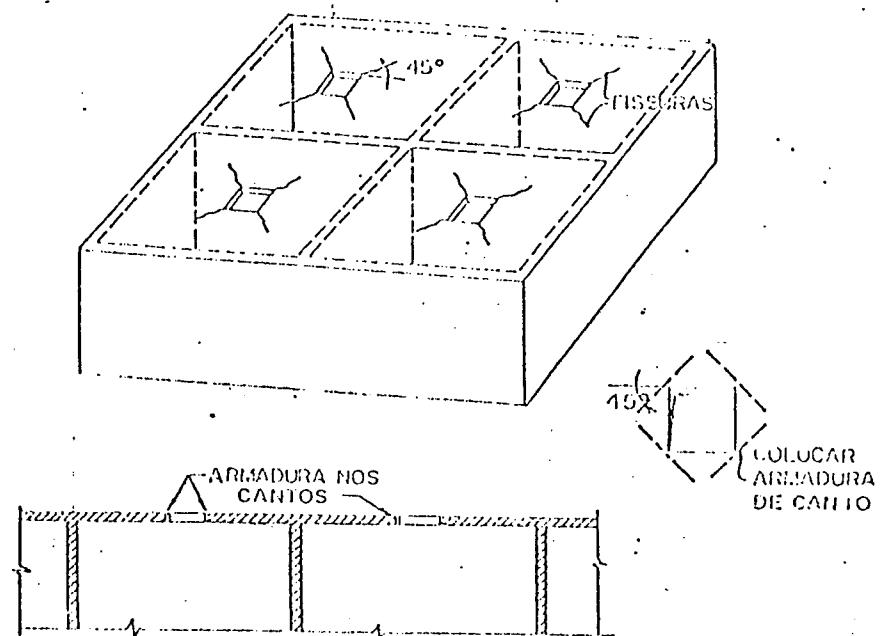
* Solução : Colocar armadura adequada e reduzir a restrição.

FIGURA 30



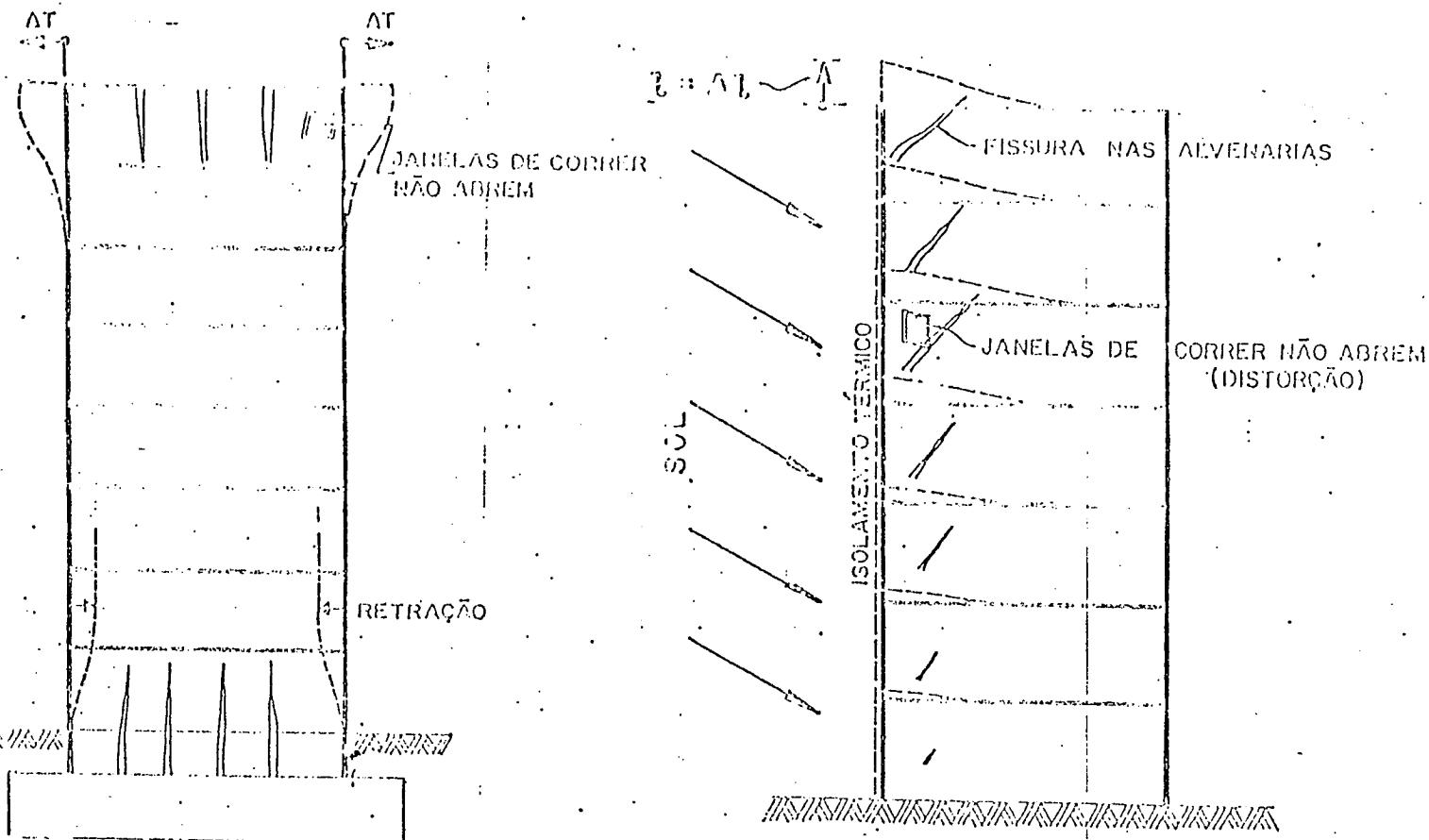
- * Tipo de Estrutura : Revestimento de concreto em túnel de rocha.
- * Fissuração : Fissuras verticais nas paredes.
- * Causas : Teor de cimento, resfriamento rápido da superfície do concreto, restrição da movimentação devido a rocha.
- * Soluções : Adequar armadura (para redistribuir as fissuras),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

FIGURA 31



- * 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.

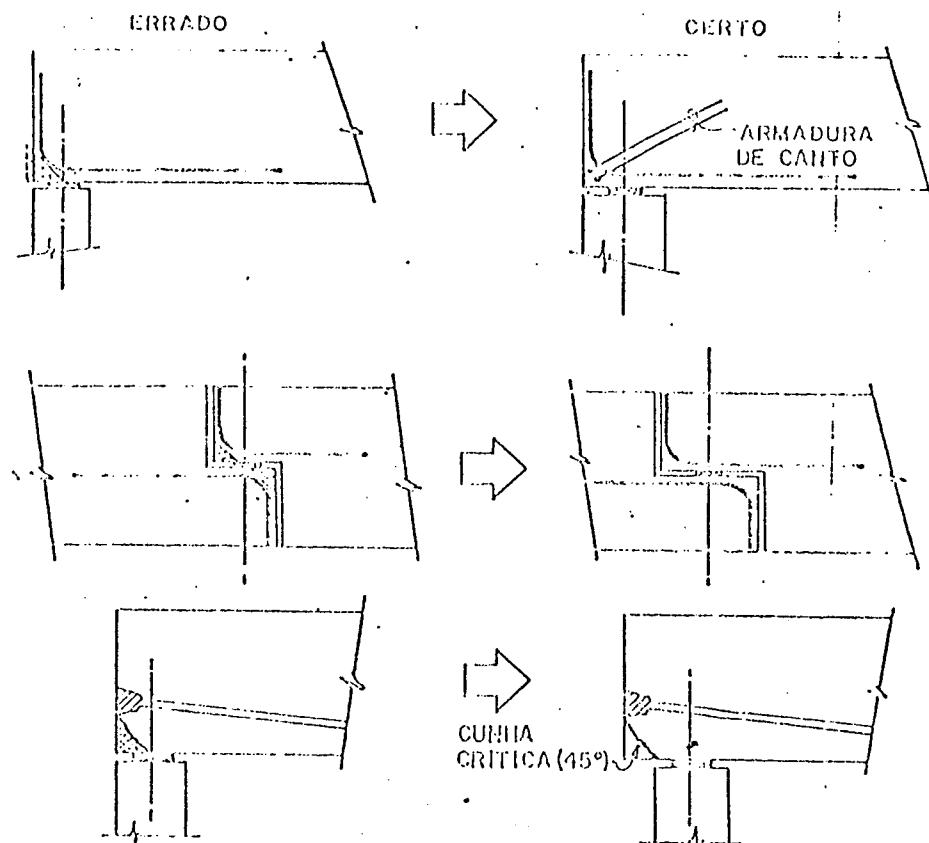
FIGURA 32



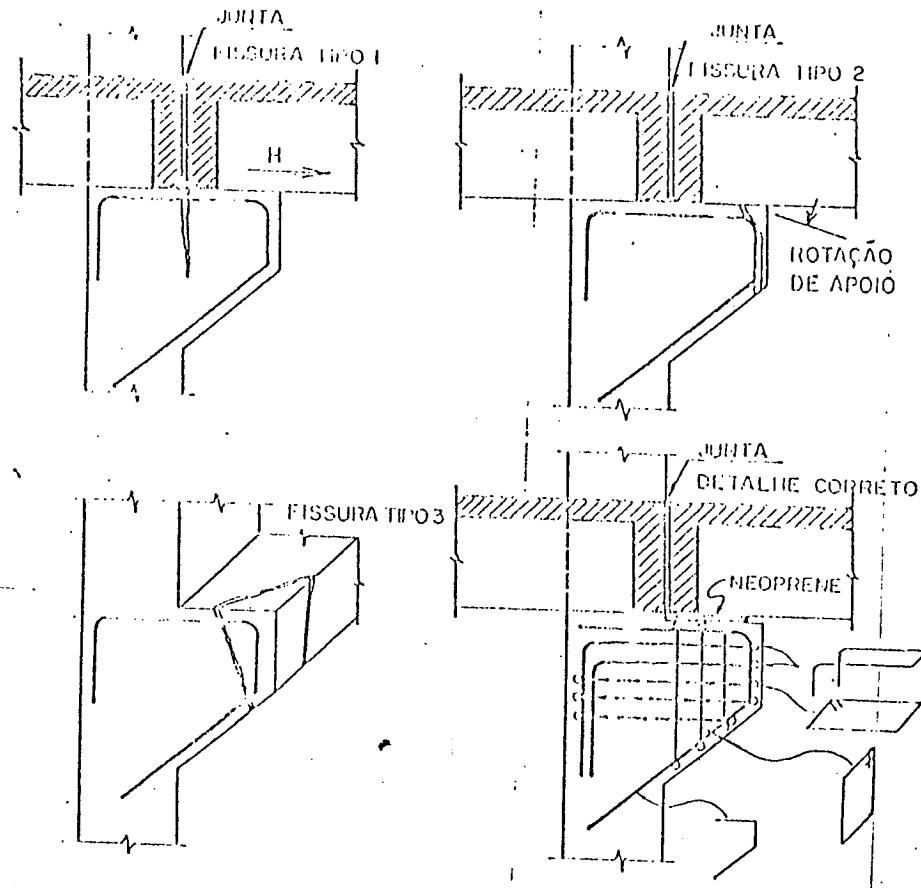
* Tipo de Estrutura : Paredes de concreto em edifícios.

- * 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 33

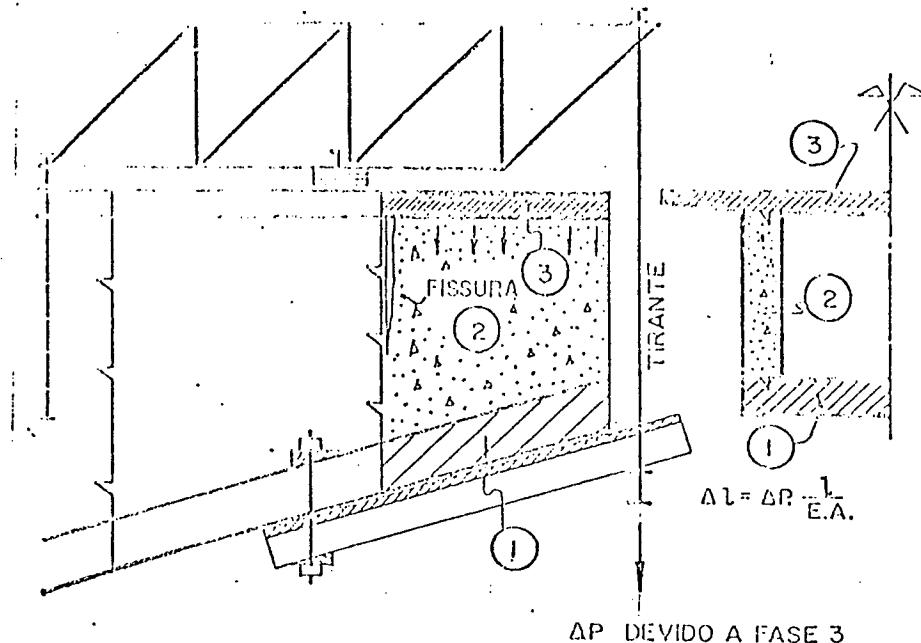


- * Tipo de Estrutura : Pontes de concreto armado ou protendido.
- * Fissuração : Fissuras inclinadas a 45° . tangentes à armadura dobrada ou à placa de ancoragem dos cabos de protensão.
- * Causa : Falta de armadura no canto da viga onde há grandes tensões de compressão.
- * Solução : dimensionar o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



- * Tipo de Estrutura : Consolos de apoio.
- * Fissuração : Fissuras verticais em diferentes posições dos consolos.
- * Causa : Detalhamento inadequado das armaduras dos solos, 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 35



ΔP DEVIDO A FASE 3

A CONCRETAGEM DA LAJE (FASE 3) PRODUZ UM Δl GRANDE.

- * 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 consequente rotação do segmento concretado.
- * Solução : Usar tirante de seção adequada, com rigidez compatível.

5. CONDIÇÕES LIMITES

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

Ambiente de exposição da obra	Abertura máxima da fissura
. Elementos internos em atmos <u>fera normal</u>	0,3 mm
. Elementos internos em atmos <u>fera úmida ou agressiva</u>	0,2 mm
. Elementos externos com intemperies	0,2 mm
. Elementos internos e externos com ambientes agressivos	0,1 mm

6.

RESUMO

A sintomatologia e terapia da fissuração podem ser resumidas como mostra a Figura 36.

CAUSA	ÉPOCA PROVÁVEL DE FORMAÇÃO	FORMA E TIPO
Evaporação rápida	Poucas horas após a colocação.	Pele de crocodilo
Assentamento Plástico	Poucas horas após a colocação	Ao longo das linhas da armadura, e mudanças de seção.
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. Armagem adeuada.
Corrosão	Vários meses	Ao longo das armaduras. Aumentar o recobrimento.
Reação Álcalis Sílica	Vários meses	"Casco de Tartaruga". Uso de material pozolânico.
Cargas e Acidentes	Variáveis	Casos específicos

Figura 36 - Resumo de alguns fenômenos de fissuração.

7.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] - "Control of Cracking in Concrete Structures" ACI-Journal - December - 1972.
- [02] - "Crack in Concrete: Causes and Prevention" - Concrete Construction Magazine.
- [03] - Clarence Rawhouser - "Cracking and Temperature Control of Mass Concrete" - Journal A.S.C.E - February - 1945.
- [04] - Peter L. Critchell - "Joints and Cracks in Concrete".
- [05] - Eduardo Thomaz - "Fissuração Causas Reais" - Junho - 1987.
- [06] - Manuel Fernandez Canovas - "Patologia e Terapia do Concreto Armado" - Editora Pini - 1988.
- [07] - Francisco R. Andriolo - "Construções de Concreto Manual de Práticas para Execução e Controle" - Editora Pini - 1984.
- [08] - Francisco R. Andriolo - Luércio Scandiuzzi - "Concreto e seus Materiais - Ensaios e Propriedades" - Editora Pini - 1987.
- [09] - Francisco R. Andriolo - Tadeusz M. Skwarczynski - "Concreto Pré-Refrigerado no Brasil - uma evolução com mais de 20 anos" - 1989.