

Exemplo nº 24

**TIPO DE ESTRUTURA:** Castelos d'água com seção circular

**FISSURAÇÃO:** Fissuras segundo as geratrizes

**ESQUEMA:**

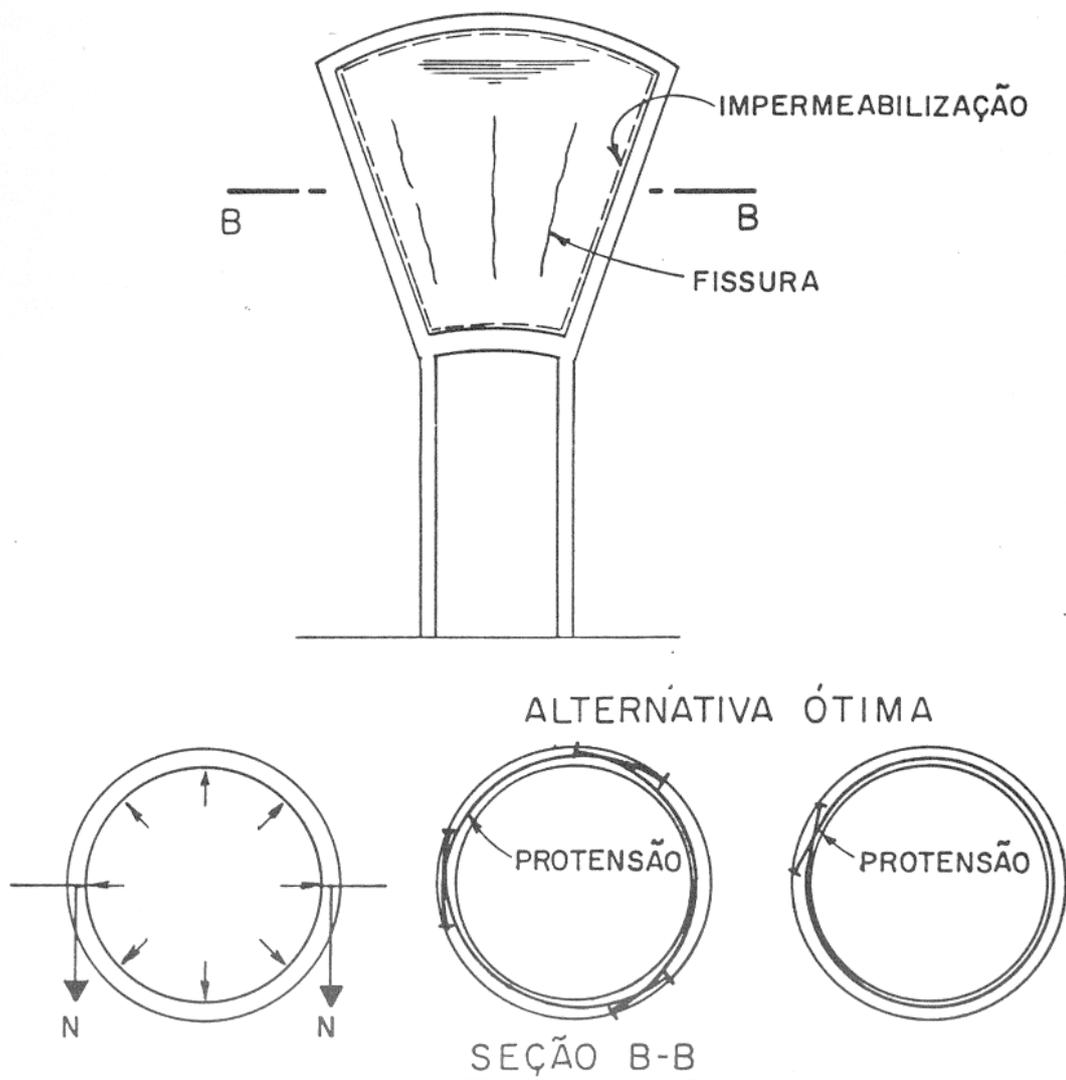


FIG. 24

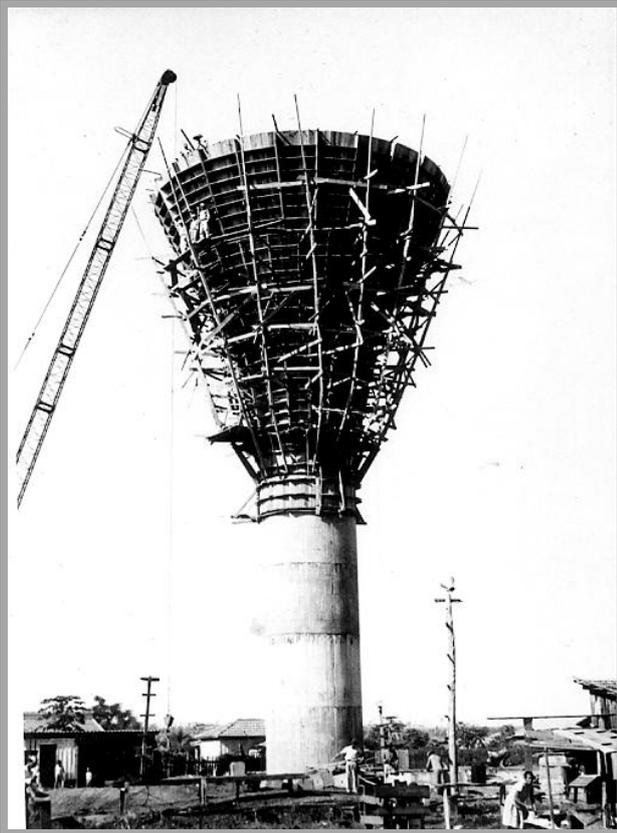
**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Não observância do estado limite "Formação fissura"  $\sigma = N/S \leq f_{ct}$

Como critério alternativo pode ser usado o estado limite "abertura de fissura"  $w_{95} = 0,1\text{mm}$

**SOLUÇÃO:** A protensão é a melhor solução estrutural para reservatórios com elevada pressão d'água.

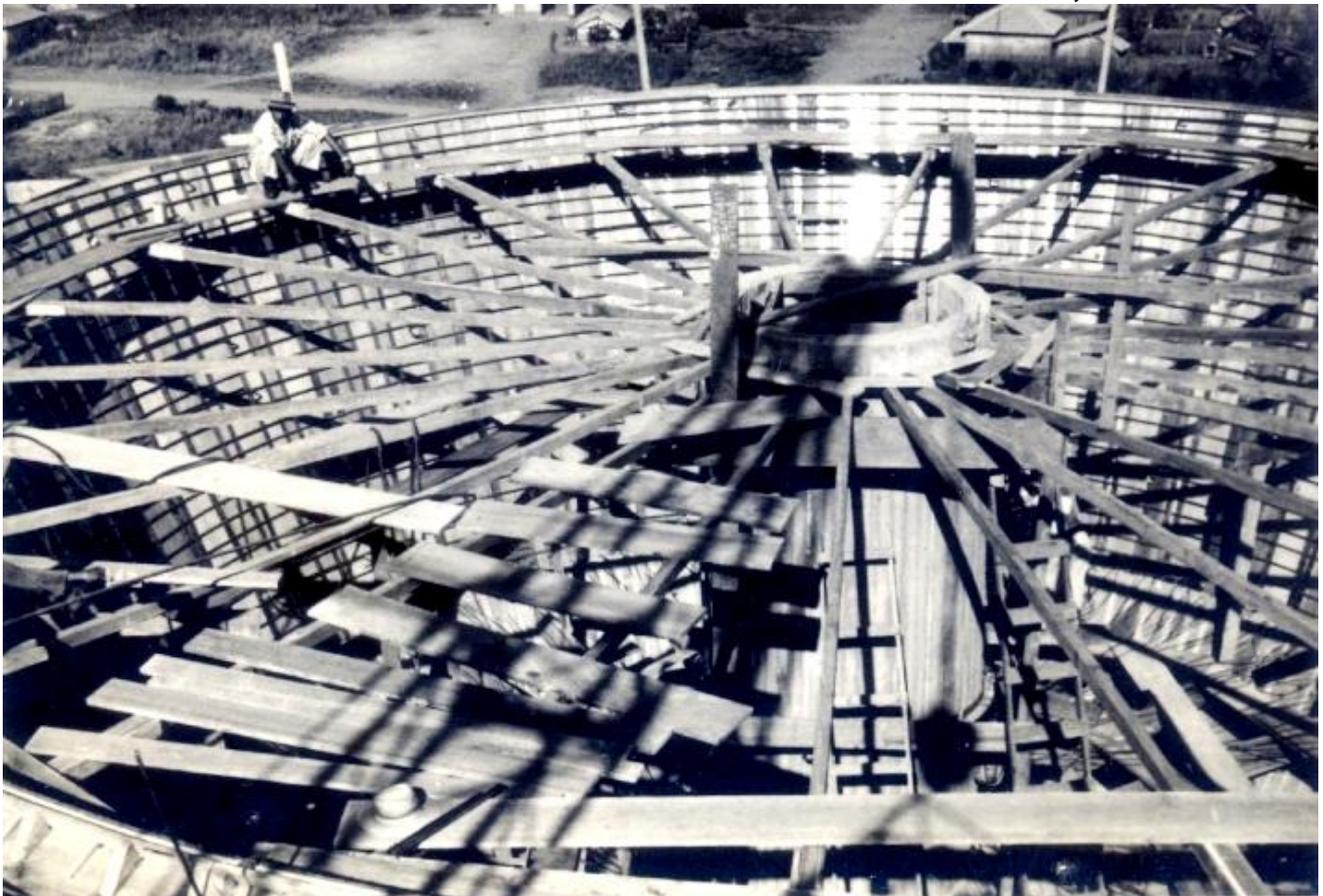
**OBSERVAÇÃO:** O uso de impermeabilização rígida em reservatórios de concreto armado como correção de fissuração excessiva não é adequado, pois as fissuras são ativas, isto é, reabrem quando do enchimento com água.

## OBRA EM EXECUÇÃO



**Juntas de Concretagem com fuga de nata**

**Forte armadura anelar não limitou a abertura das fissuras a 0,10 mm**



**A armadura anelar deve ser dimensionada para limitar a abertura da fissura a 0,10 mm.**

## EXEMPLO N<sup>o</sup> 24 (Continuação)

**TIPO DE ESTRUTURA:** Reservatório tronco cônico

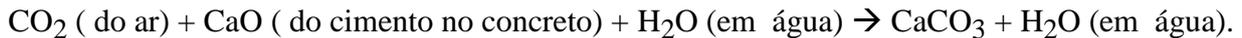
**FISSURAÇÃO :** Fissuras passantes, segundo as geratrizes do tronco de cone.

Após o enchimento do reservatório, foi observado que havia percolação de água através das fissuras. A abertura média das fissuras, na superfície externa do reservatório, era de 0,15mm.

**CAUSA:** Estimativa incorreta da abertura das fissuras.

**SOLUÇÃO:** Auto vedação de fissuras, que atravessam a parede, usando solução de cimento na água. A vedação foi imediata e permanente.

**AUTO VEDAÇÃO DE FISSURAS QUE ATRAVESSAM A PAREDE :** Mesmo sem a dissolução de cimento na água, em muitos reservatórios, observa-se a **auto-vedação das fissuras**, após algumas horas de percolação da água. Os ensaios feitos por Edvadsen Carola.K, [77], mostram que a auto vedação se deve à formação da calcita **CaCO<sub>3</sub>** dentro das fissuras:



- A vazão da água através das fissuras, logo após o enchimento do reservatório, vale :

$$q(0) = 740 \cdot I \cdot w^3 \cdot k_t, \text{ (litros/hora)/(metro de fissura) onde :}$$

$I$  = gradiente hidráulico =  $h_{\text{água}}/d$  = [altura de água acima da fissura (m)/espessura da parede (m)]

$w$  = abertura média da fissura na superfície da parede ou da laje (mm)

$k_t$  = fator que considera a influência da temperatura na viscosidade da água.

Temperatura da água °C	4°C	15°C	20°C	30°C
$k_t$	0,64	0,88	1,00	1,26

Após várias horas de percolação de água, a vazão diminui e pode até desaparecer, se a abertura inicial da fissura for pequena,  $w < 0,15\text{mm}$ .

- A vazão relativa  $q(t)/q(0)$ , é função da abertura média da fissura  $w$  (mm) e pode ser estimada pela expressão:

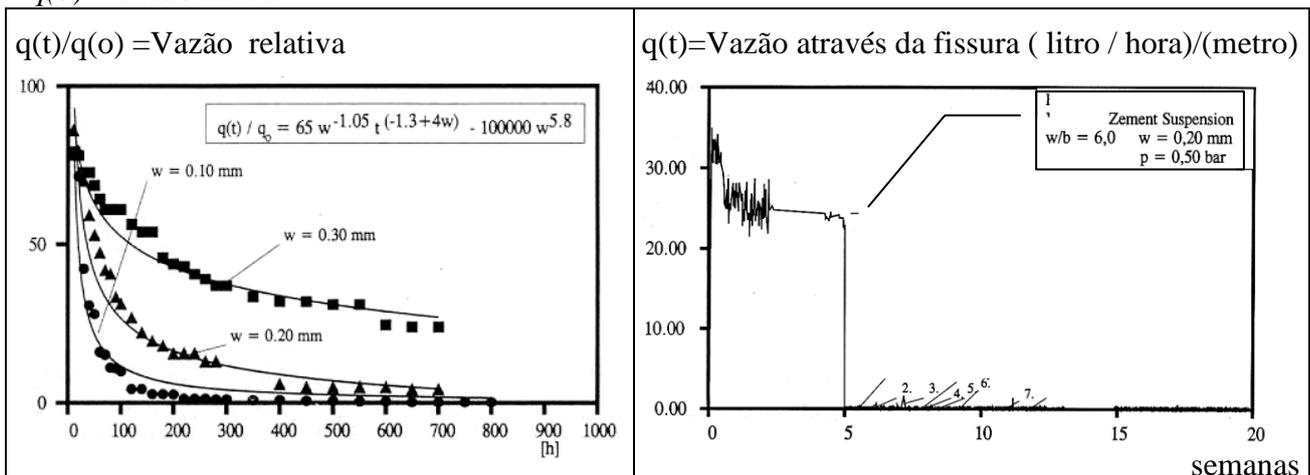
$$\frac{q(t)}{q(0)} \approx \left( \frac{1}{100} \right) \cdot \left\{ 65 \cdot \left[ w^{(-1,05)} \right] \cdot \left[ t^{(-1,3+4w)} \right] - \left[ 10^5 \cdot w^{(5,8)} \right] \right\} \text{ onde :}$$

$t$  = tempo de percolação da água através da fissura, em horas.

$w$  = abertura média da fissura na superfície da parede ou da laje (mm)

$q(t)$  = vazão de água após [h] horas de percolação de água.

$q(0)$  = vazão inicial.



Observou-se nos ensaios (ver figura) que uma fissura com abertura média  $w < 0,15\text{mm}$ , na superfície da parede ou da laje, pode auto-vedar, após poucas horas de percolação de água

Uso de suspensão de cimento na água, na proporção água / cimento = 6 / 1, em peso, com plastificante para evitar floculação. A vedação foi completa e imediata. Ver [77].

Usar cimento apenas com grãos  $< 16 \mu\text{m}$ . [120]

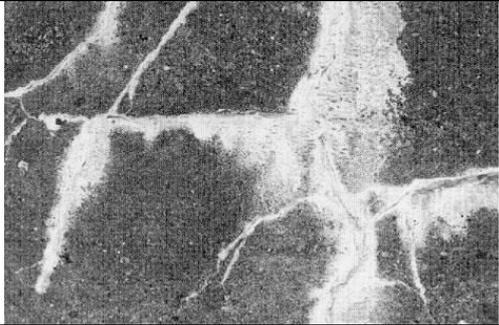
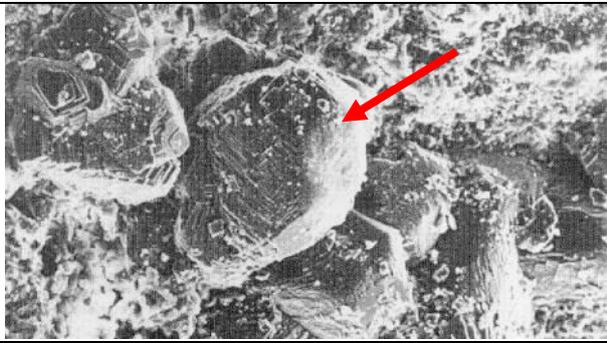
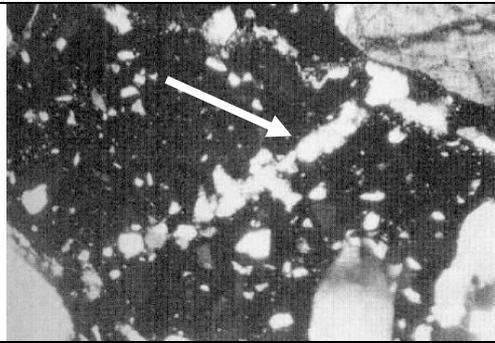
Os grãos de cimento, em suspensão na água, tendem a sedimentar. Isto facilita a vedação de lajes de fundo e de paredes inclinadas, sobre as quais os grãos de cimento se depositam penetrando nas fissuras. Usar cimento apenas com grãos  $< 16 \mu\text{m}$ . [120]

### EXEMPLO N<sup>o</sup>.24 (Continuação)

**TIPO DE ESTRUTURA:** Reservatório tronco cônico

**FISSURAÇÃO :** Fissuras passantes, segundo as geratrizes do tronco de cone.

**SOLUÇÃO:** *Auto vedação de fissuras, usando solução de cimento na água.*

	
Precipitação de Carbonato de Cálcio, $\text{CaCO}_3$ , em fissuras auto-vedadas., na superfície de uma parede de sub-solo. Ver [77]	Fissura com 0,2mm de abertura, parcialmente vedada pela formação de cristais de calcita $\text{CaCO}_3$ . Micrografia eletrônica : Ver [77]
	
Cristais de calcita $\text{CaCO}_3$ , formados dentro de uma fissura com abertura média $w = 0,30\text{mm}$ . Os cristais de calcita $\text{CaCO}_3$ , mostrados na figura, têm um tamanho médio de 0,1mm .	Fissura, com 0,2mm de abertura, totalmente vedada pela formação de calcita $\text{CaCO}_3$ . Pressão da água = 0,50 bar =5 metros de água. Micrografia com luz polarizada . Ver [77]
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Bentonita em suspensão.</i></li><li>• Com suspensão de bentonita na água, na proporção água / bentonita = ( 50 / 1 ) em peso, a vedação é completa e imediata. Ver [77].</li><li>• Os grãos de bentonita, em suspensão na água, não sedimentam. Isto facilita a vedação de fissuras em paredes verticais</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Micro-sílica em suspensão.</i></li><li>• Usando uma suspensão de micro-sílica em água, na proporção água / micro-sílica= ( 20 / 1 ) , em peso, a vedação da fissura é praticamente instantânea, quando a fissura for menor que 0,20mm. Ver [77]</li><li>• Os grãos de micro-sílica , em suspensão na água, também tendem a sedimentar. Os grãos de micro-sílica , sendo muito mais finos que os grãos de cimento, vedam fissuras com pequena abertura ( <math>w &lt; 0,05 \text{ mm}</math>).</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Se a fissura não for passante , isto é, se tiver uma zona comprimida pela flexão, deve-se fazer uma verificação segundo os critérios mostrados no exemplo N<sup>o</sup> 23 .</li></ul>	