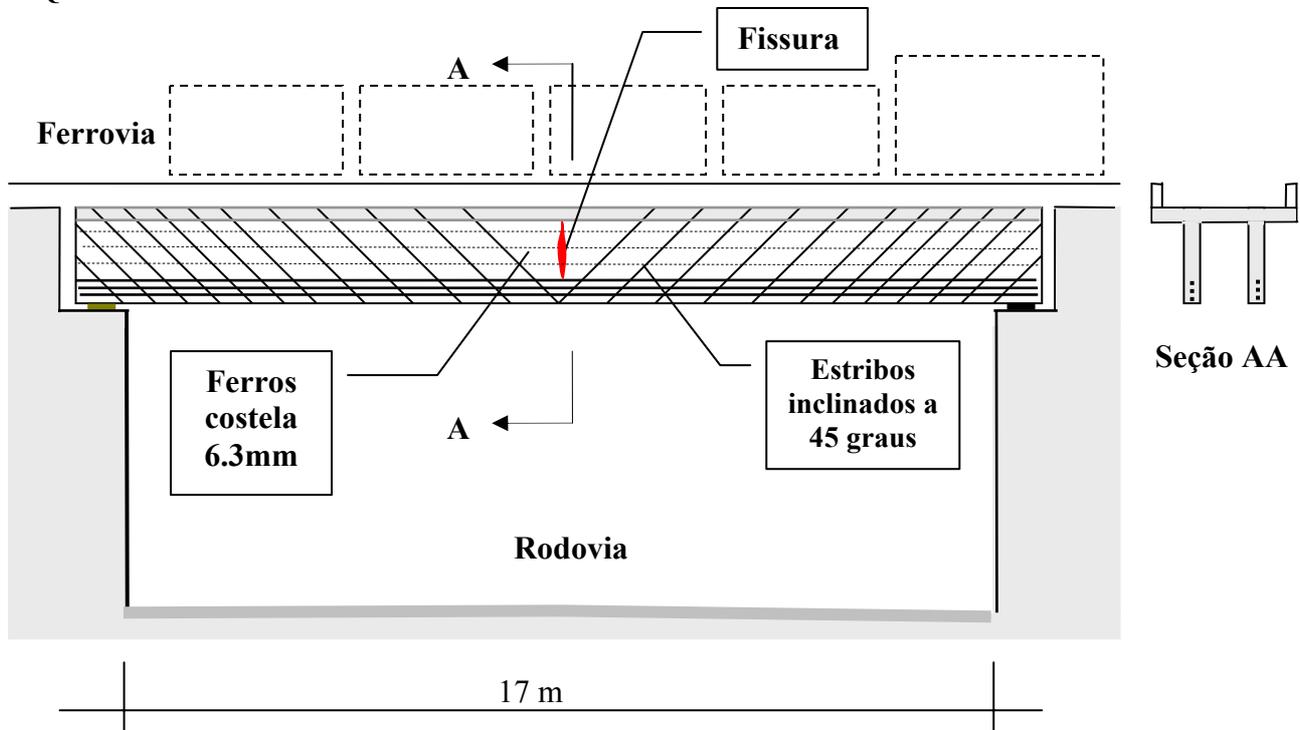


### EXEMPLO Nº 133

**ESTRUTURA :** Ponte ferroviária, em concreto armado com estribos inclinados.

**FISSURAÇÃO :** Uma única fissura na alma da viga, no centro do vão isostático. A fissura começava pouco acima da armadura principal de flexão e terminava embaixo da laje superior comprimida. A fissura tinha forma de uma lente convexa. A abertura máxima da fissura era de **0,6mm**, a meia altura da alma da viga. A fissura podia ser vista por uma pessoa dentro de um carro na rodovia.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Ferro costela insuficiente. Praticamente inexistente.

Em vigas **T** a linha neutra fica muito alta, próxima da laje comprimida. A alma da viga fica toda tracionada, sem uma armadura adequada.

Na parte inferior da viga a fissura é muito pequena e quase invisível a olho nu.

**SOLUÇÃO :** Na fase de projeto: Usar armadura de ferro costela em quantidade suficiente.

Em obra já pronta: Em uma ponte ferroviária como esta, a abertura da fissura aumenta durante a passagem do trem de carga. A fissura é ativa.

- No meio do vão, o momento de flexão, devido à carga móvel, é grande e a fissura volta a abrir quando da passagem do trem de carga. A fissura no entanto, não reduz a resistência ao momento de flexão.
- Na seção meio do vão, a força cortante devida à carga móvel é muito pequena. A alma da viga, porém, com uma fissura de grande abertura, perde parte da sua capacidade de transmitir a força cortante.
- Na obra em questão optou-se por fazer uma injeção de resina epóxi e em seguida aplicar um revestimento elástico, sem função estrutural, com a finalidade de evitar a penetração dos agentes agressivos provenientes da atmosfera e das descargas dos veículos da rodovia.

**OBSERVAÇÃO:** A armadura de flexão, composta de barras retas, era correta e não havia fissura visível no bordo inferior tracionado. Não haviam fissuras inclinadas visíveis.

A armadura de estribos inclinados também estava correta. Segundo Fritz Leonhardt, [4] e [6], o comportamento de vigas com estribos inclinados é muito bom, pois as barras ficam colocadas ortogonalmente às eventuais fissuras inclinadas, reduzindo a abertura dessas fissuras.

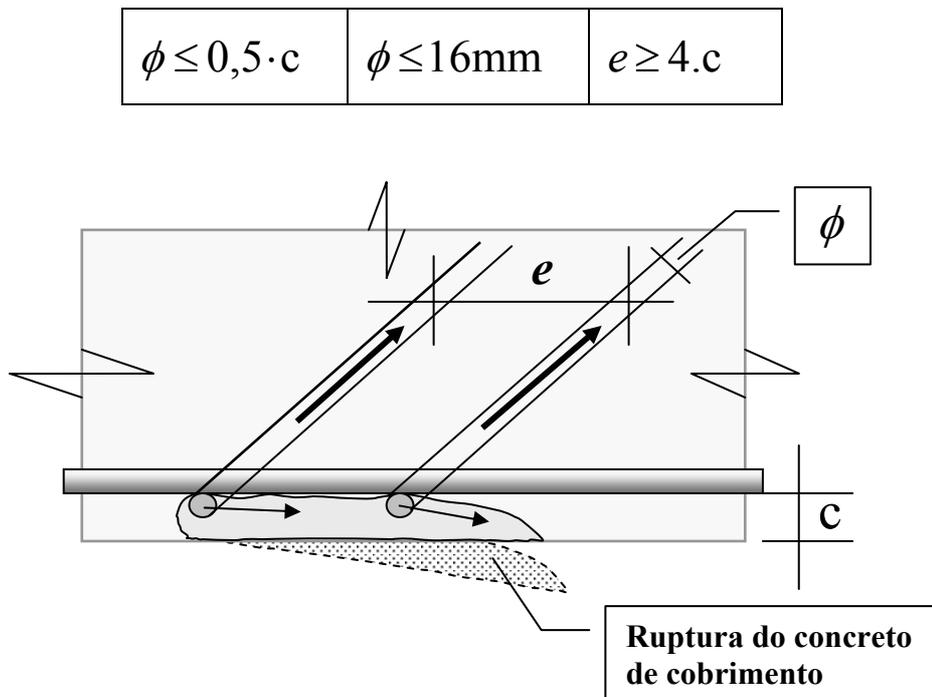
### EXEMPLO Nº 133 ( CONTINUAÇÃO )

**ESTRUTURA :** Ponte ferroviária , em concreto armado com estribos inclinados.

**FISSURAÇÃO :** Uma única fissura na alma da viga, no centro do vão isostático.

#### COMENTÁRIOS:

1. Essa obra é uma das poucas obras com estribos inclinados, executadas no Brasil.
2. Até 1960 usavam-se barras dobradas para resistir às forças de tração na flexão e também para resistir parte dos esforços transversais. Os esforços transversais eram resistidos, em conjunto, pelas barras dobradas e pelos estribos a 90 graus.
3. A partir dos ensaios de Fritz Leonhardt [6], em 1960, o detalhe mudou : barras retas para a tração na flexão e estribos, a 90 graus ou inclinados, resistindo a todos os esforços transversais.
4. Estribos inclinados, embora estruturalmente eficientes, não são de fácil execução. Por esse motivo poucas obras usaram esse tipo de armadura.
5. Em vigas com estribos inclinados é preciso evitar a ruptura do concreto do cobrimento, devida ao escorregamento dos estribos ao longo das barras longitudinais.  
Fritz Leonhardt, [109], recomenda o uso de estribos com pequenos diâmetros e com grandes espaçamentos entre eles ( ver figura abaixo).



Na ponte em questão foram usados estribos com 4 pernas em cada viga.

$$C = 4\text{cm} ; \quad e = 20\text{cm} ; \quad \phi = 12,5\text{mm}$$

- $\phi = 12,5\text{mm} \leq 0,5 \times C = 0,5 \times 40\text{mm} = 20\text{mm}$  OK
- $\phi = 12,5\text{mm} \leq 16\text{mm}$  OK
- $e = 20\text{cm} \geq 4 \cdot c = 4 \times 4\text{cm} = 16\text{cm}$  OK
- A inspeção visual ao longo da obra, não detectou qualquer sinal de ruptura do cobrimento **C**, mesmo sendo ela uma ponte ferroviária com cargas dinâmicas muito intensas.