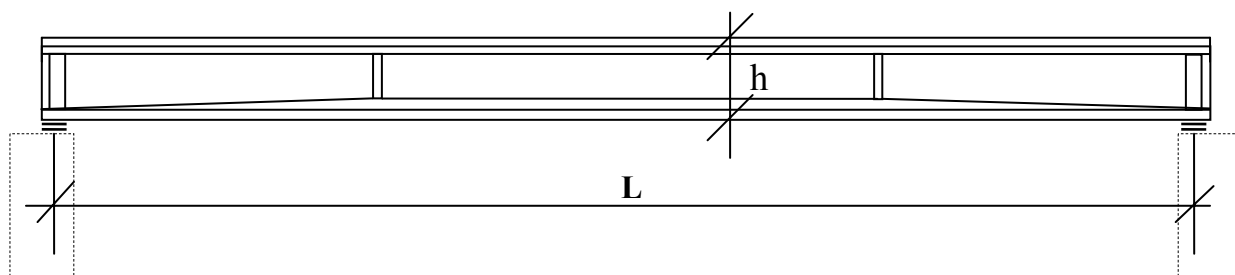
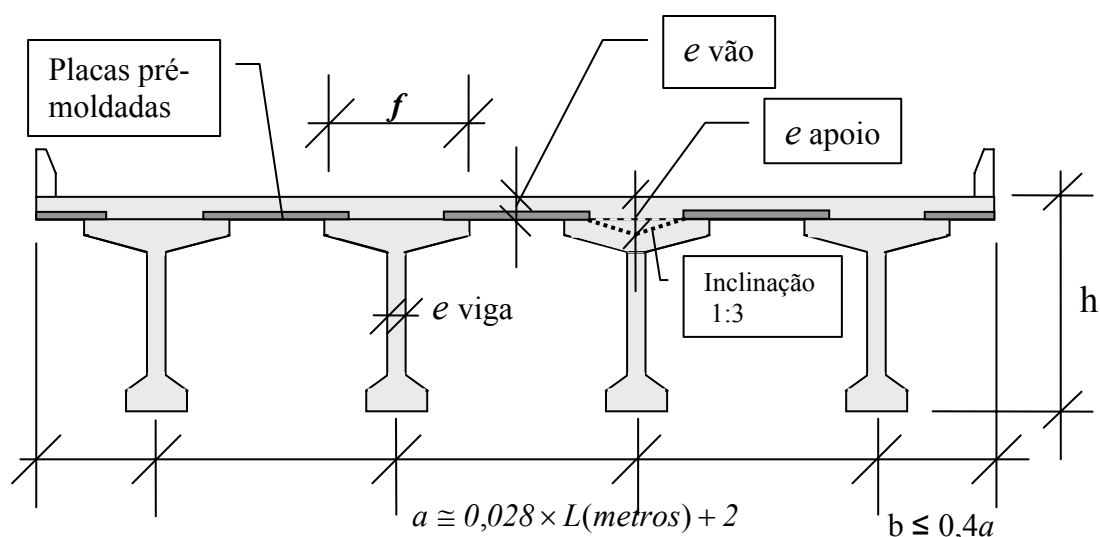




### Pontes Rodoviárias com Vigas protendidas pré-moldadas



Vista lateral  
Figura 1



Seção Transversal  
Figura 2

- O pré-dimensionamento de um tabuleiro de ponte, com vigas pré-moldadas protendidas, pode ser feito a partir de correlações existentes entre as diversas dimensões.



### Pontes Rodoviárias com Vigas protendidas pré-moldadas

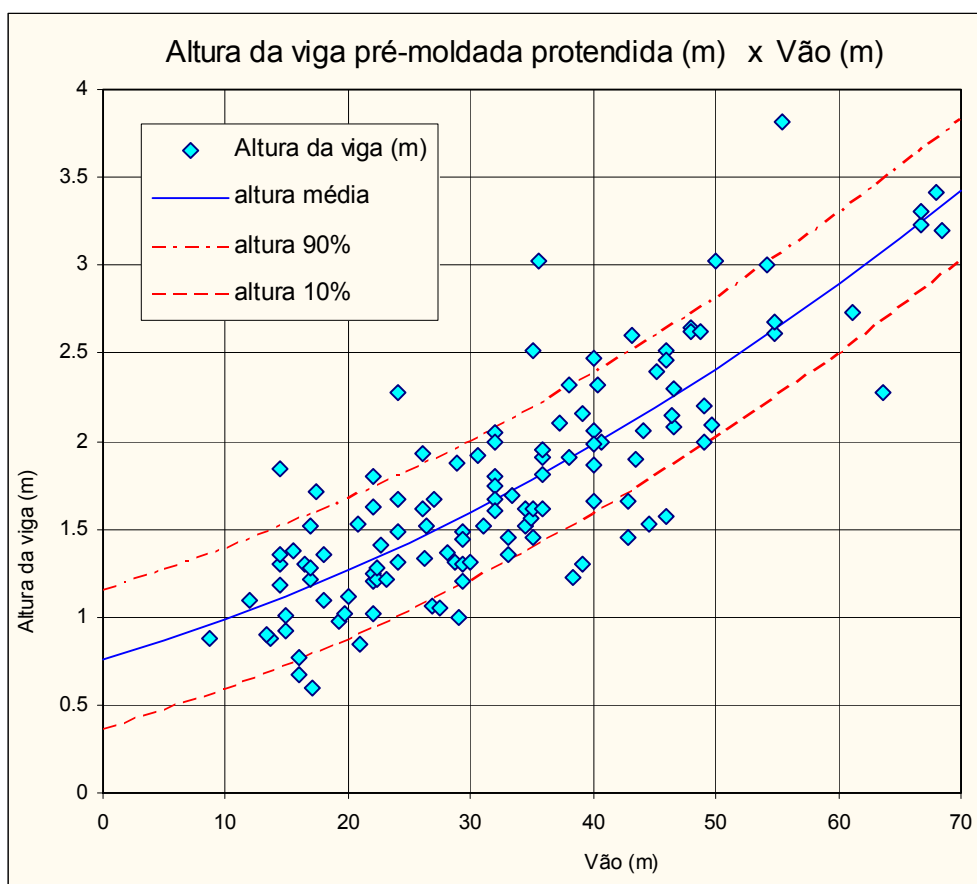


Figura 3

- A altura da viga ( $h$ ) pode ser estimada a partir da curva de correlação mostrada na figura acima.



As principais dimensões do tabuleiro deverão ter os seguintes valores :

- Para evitar a flambagem lateral da viga pré-moldada, a largura “ $f$ ” da mesa vale :
  - $f \geq \left( \frac{L(\text{metros})}{100(\text{metros})} \right) \times h$
  - $f \geq \frac{L}{30}$
- O entre-eixo das vigas :  $a(\text{metros}) \leq 0,028 \times L(\text{metros}) + 2\text{metros}$
- O balanço do tabuleiro :  $b \leq 0,40 \cdot a$
- A espessura da laje no apoio, sobre a viga, incluindo parte da espessura da mesa da viga, deve ser  $e_{\text{apoio}} \geq 0,10 \cdot a$  , como mostrado na figura abaixo.

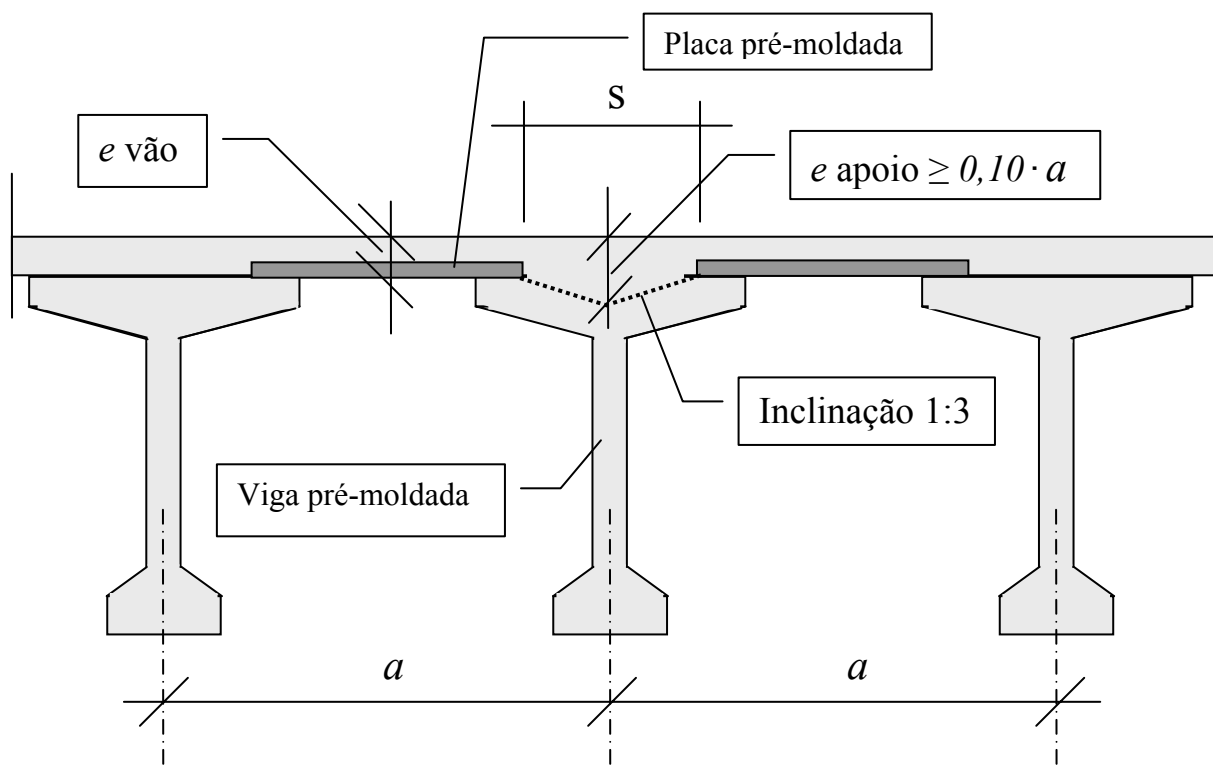


Figura 4

- A espessura da laje, no meio do vão da laje, deve ser  $e_{\text{vão}} \cong 0,6 \times e_{\text{apoio}} \geq 17\text{cm}$



- A espessura da laje no apoio extremo, sobre a viga, incluindo parte da espessura da mesa da viga, deve ser :  $e_{\text{apoio extremo}} \geq 0,15 \cdot b$  e  $e \geq 35\text{cm}$

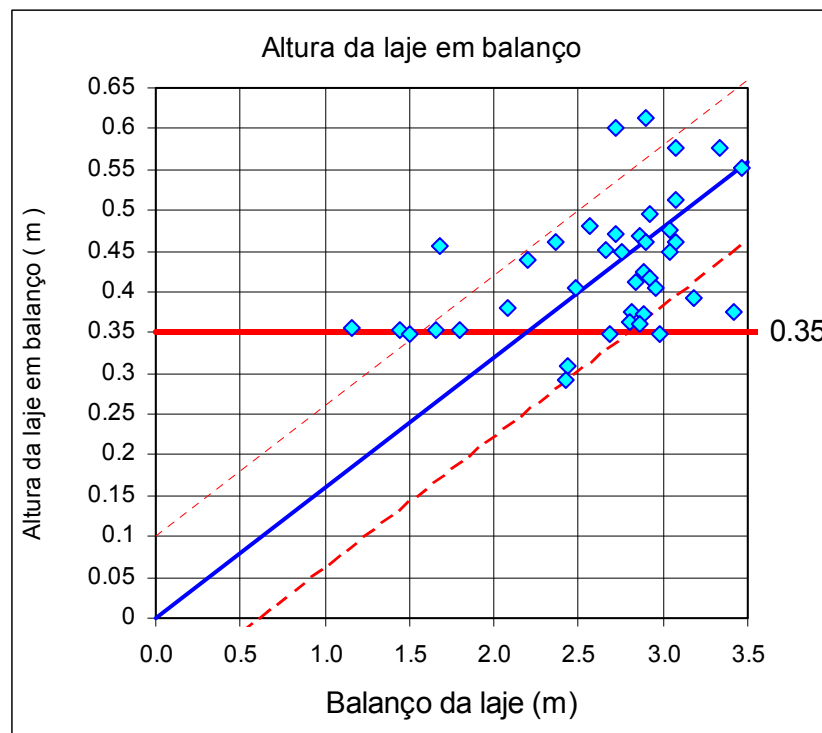


Figura 5

- A distância “s” entre as bordas das placas pré-moldadas será:  
 $s \geq 2 \times 3 \times (e_{\text{apoio}} - e_{\text{vão}})$  ;  
 $s \geq 0,40 \cdot a$
- A Largura do talão inferior da viga pré-moldada é  $\approx 3$  vezes a espessura da alma da viga.



Exemplo:

Dados : Vão  $L = 50$  metros ; Largura total do tabuleiro =  $13,6\text{m} = 12,8 + 2 \times 0,4\text{m}$

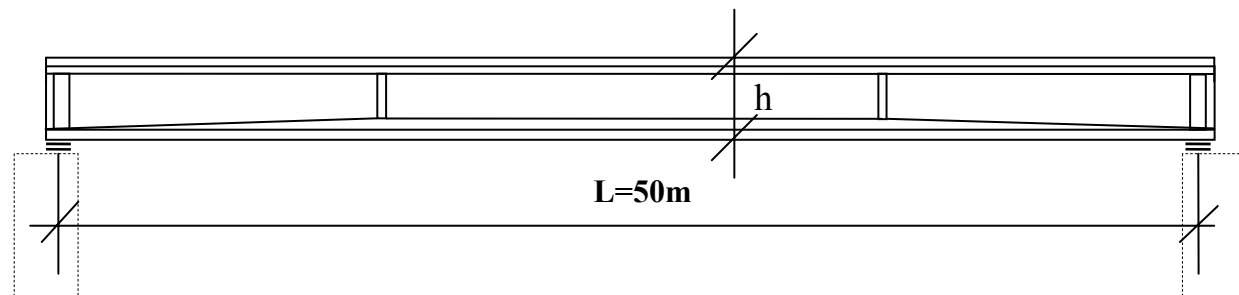


Figura 6

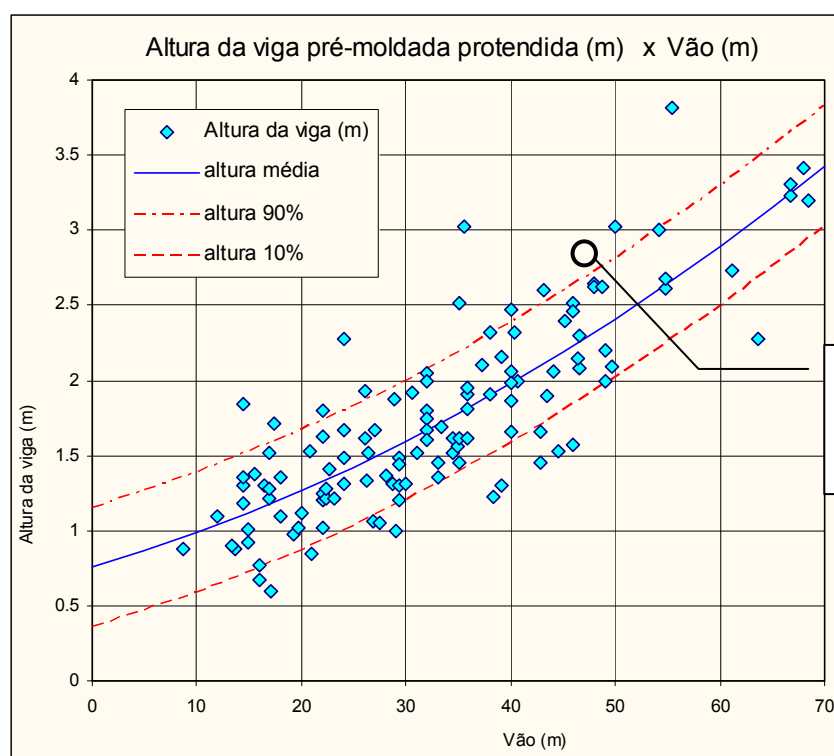


Figura 7

$$\text{Altura (média)} = 0,00025 \times L^2 + 0,02065 \times L + 0,75434$$

$$\text{Altura (90\%)} = \text{Altura (média)} + 0,40\text{m}$$

Da curva de correlação, “Altura da viga x Vão”, obtemos, no fractil 90% :

- Altura da viga  $h$  ( 90% )  $\approx 2,8\text{m}$
- A largura “ $f$ ” da mesa da viga deve ser :



$$f \geq \left( \frac{L(\text{metros})}{100m} \right) \times h = \left( \frac{50m}{100m} \right) \times h = 0,5 \times h = 0,5 \times 2,8m = 1,4m$$

$$f \geq \frac{L}{30} = \frac{50m}{30} = 1,67m$$

Usar  $f \geq 1,7m$

- O entre-eixo “a” das vigas será :  
 $a(m) \leq 0,028 \times L(\text{metros}) + 2m = 0,028 \times 50m + 2m = 3,4m$   
Usar  $a \approx 3,4 m$
- O balanço “b” do tabuleiro :  $b \leq 0,40 \cdot a = 0,40 \cdot 3m = 1,20m$
- Ajustando à largura total :  
 $13,6 m = 3a + 2b = 3 \cdot a + 2 \cdot (0,40 \cdot a)$ , obtemos:  
 $a \approx 3,5m$  ;  $b \approx 1,65 m$
- A espessura da laje, nos apoios intermediários sobre as vigas, incluindo parte da espessura da mesa da viga, vale :  $e_{\text{apoio}} \geq 0,10 \cdot a = 0,10 \cdot 3,5m = 0,35m = 35cm$
- A espessura da laje, no meio do vão da laje vale :  
 $e_{\text{vão}} \cong 0,6 \times e_{\text{apoio}} = 0,6 \times 35cm = 21cm \geq 17cm$
- A distância mínima “s” entre as bordas das placas pré-moldadas deverá ser :  
 $s \geq 2 \times 3 \times (e_{\text{apoio}} - e_{\text{vão}}) = 2 \times 3 \times (35cm - 21cm) = 84cm$   
 $s \geq 0,40 \cdot a = 0,40 \times 3,5m = 140cm$   
Usar  $s \geq 140 cm$
- A espessura da laje, no apoio extremo sobre a viga, incluindo parte da espessura da mesa da viga, ( ver figura 5 ) vale :  
 $e_{\text{apoio extremo}} \geq 0,16 \cdot b = 0,15 \cdot 1.65m = 0,25m$   
 $e_{\text{apoio extremo}} \geq 35cm$   
Usar :  $e_{\text{apoio extremo}} = 35 cm$
- A distância mínima “s” entre as bordas das placas pré-moldadas sobre a viga extrema deverá ser :  $s \geq 3 \times (e_{\text{apoio extremo}} - e_{\text{balanço}}) + 3 \times (e_{\text{apoio extremo}} - e_{\text{vão}}) =$   
 $3 \times (35cm - 21cm) + 3 \times (35cm - 21cm) = 84cm$   
 $s \geq 0,40 \cdot a = 0,40 \times 3,5m = 140cm$



- As placas pré-moldadas poderão se apoiar, na viga extrema, em um comprimento de :

$$\text{apoio da placa} \leq \frac{170\text{cm} - 140\text{cm}}{2} = 15\text{cm}$$

Usar um apoio com 15 cm sobre a mesa superior da viga pré-moldada.

O comprimento  $s$  será :

$$s = 170 - 2 \times 15 = 140\text{cm}$$

Resumo das dimensões estimadas para o tabuleiro com vigas pré-moldadas e protendidas.

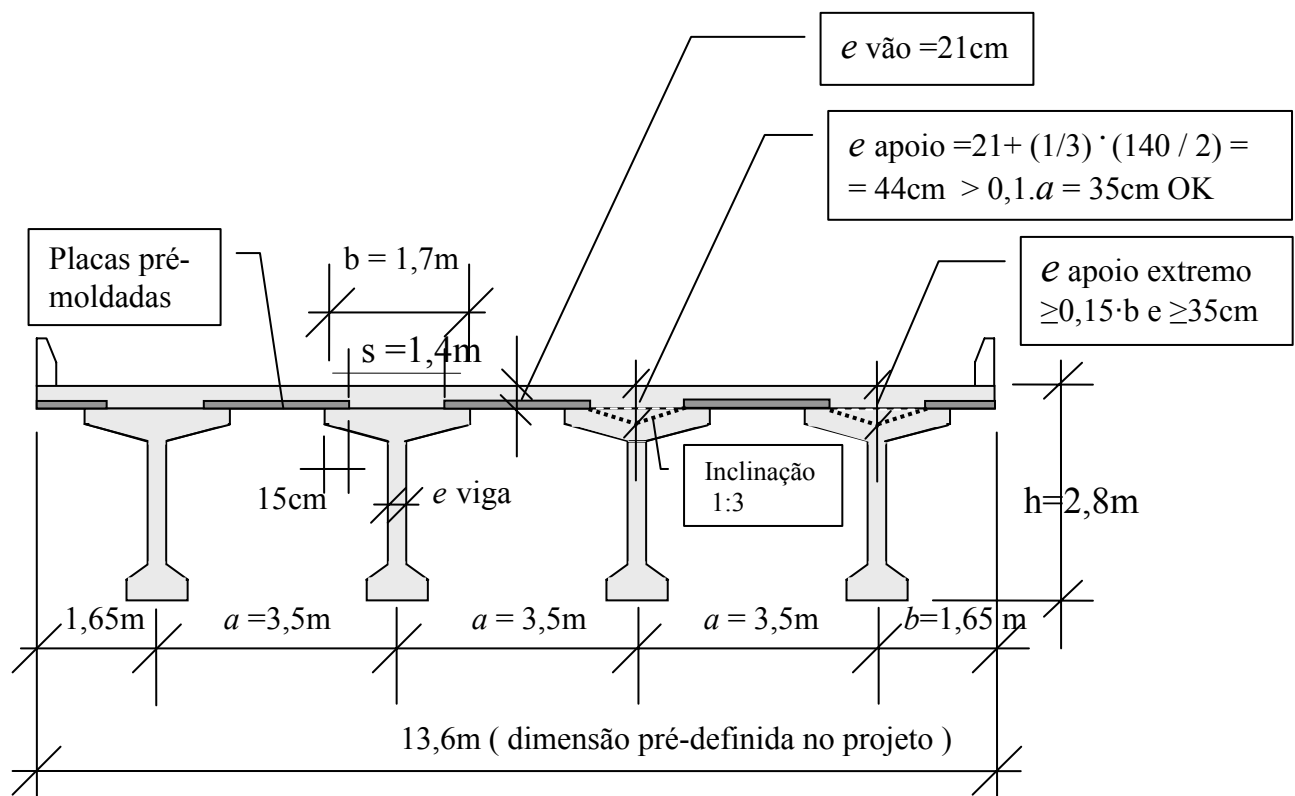


Figura 8

- Essas dimensões estimadas servem apenas para um estudo inicial da obra, inclusive para uma avaliação das fundações.
- É evidente que as dimensões dependerão da resistência do concreto que será usado na obra.
- O cálculo estrutural pode confirmar ou não as dimensões estimadas.



### Largura da alma da viga pré-moldada protendida

No trecho da alma da viga onde os cabos começam a subir, surgem grandes dificuldades de concretagem. Há falta de espaço livre para a descida do concreto.

A espessura de 17cm é insuficiente para garantir uma boa concretagem. O espaço livre, entre os cabos “subindo” na alma da viga e os ferros costela, é muito pequeno.

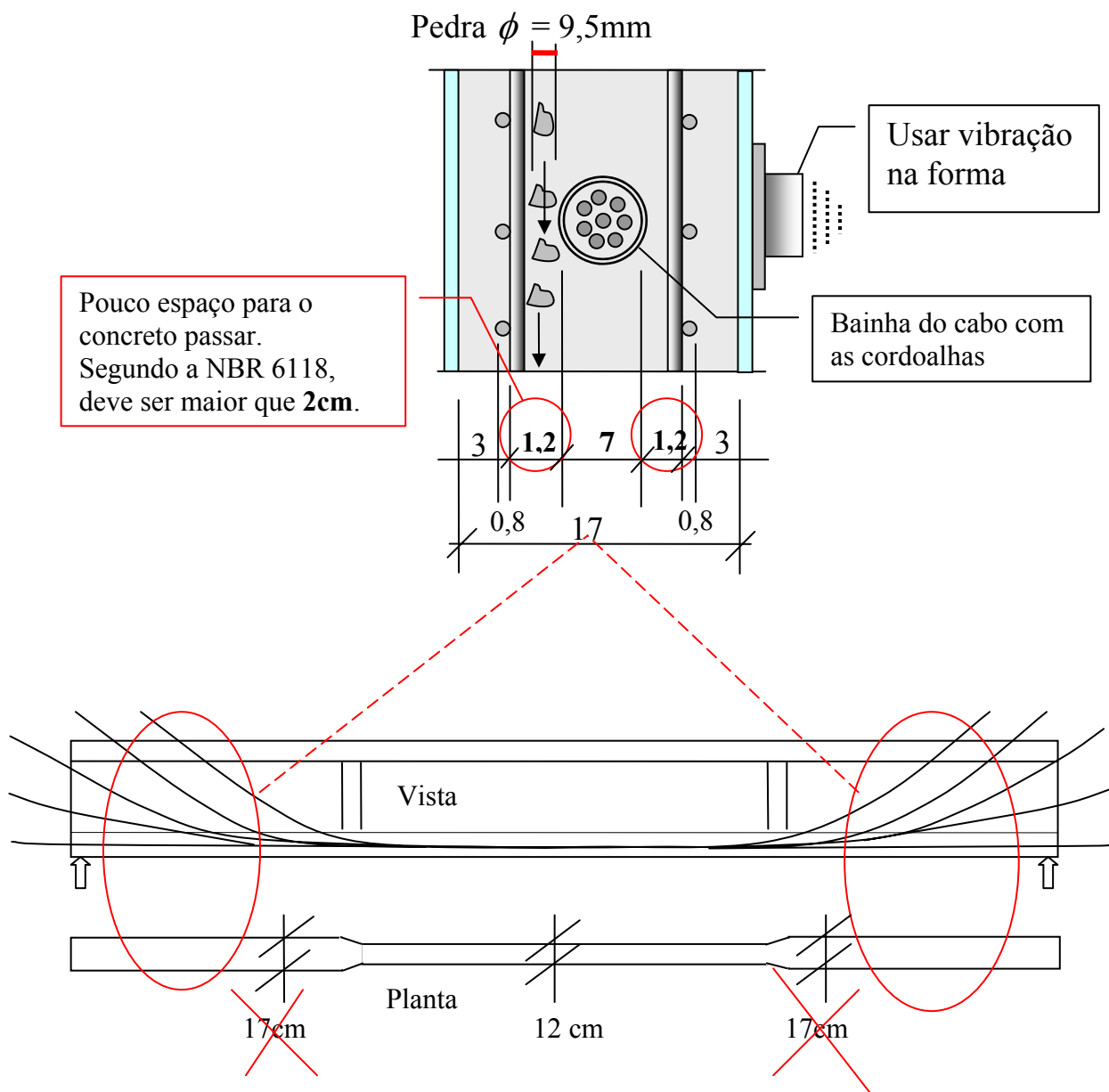


Figura 9

No trecho onde os cabos sobem na alma da viga, usar uma espessura maior.





Outra dificuldade para uma boa concretagem é a causada pelos estribos do talão inferior. As duas pernas inclinadas dos estribos, quando se cruzam próximo aos cabos, formam um obstáculo adicional para uma boa concretagem.

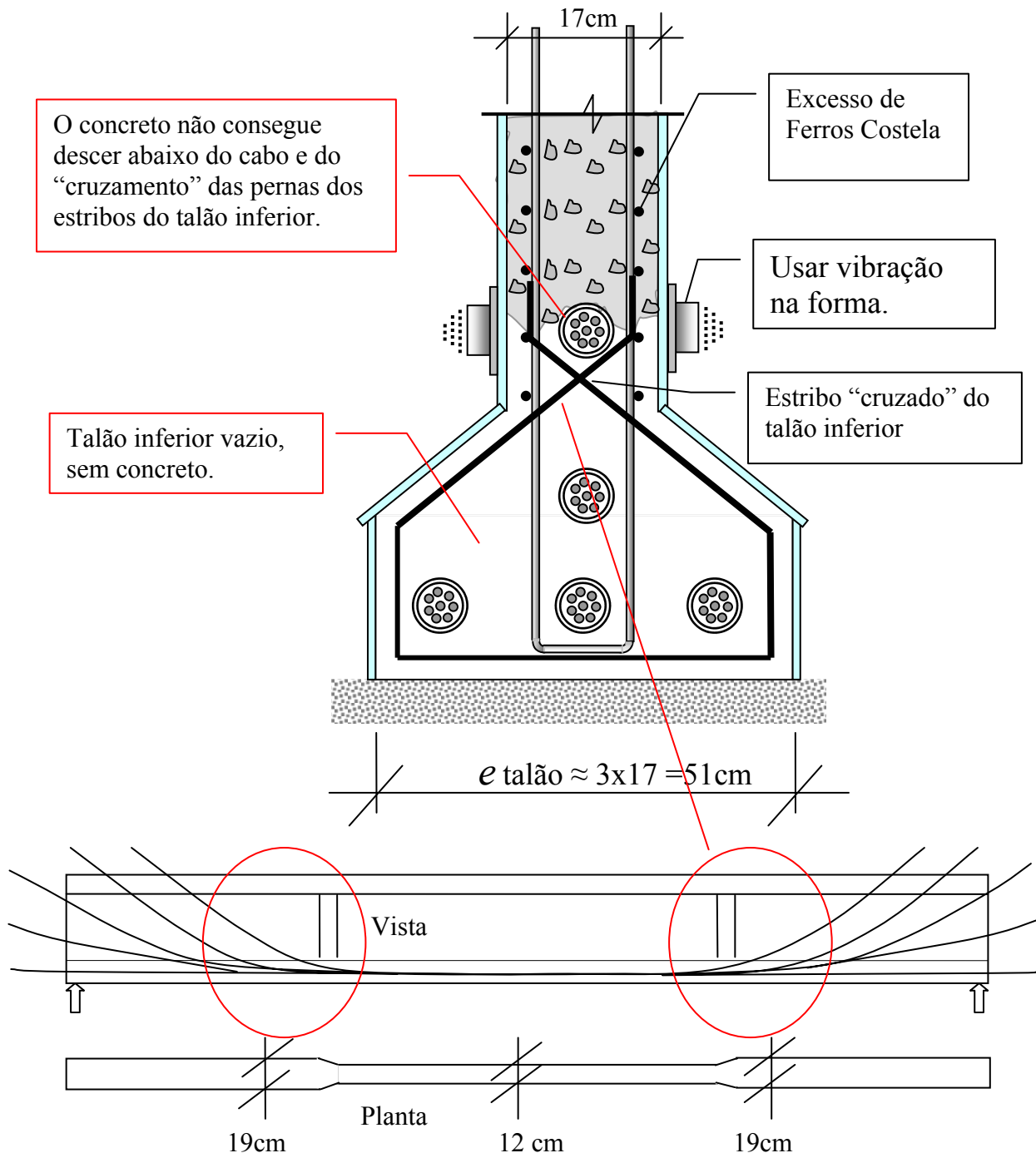


Figura 10

No trecho onde os cabos "sobem" na alma da viga, usar uma espessura de 19 cm, no mínimo.



Sugestão para melhorar a concretagem do talão inferior.

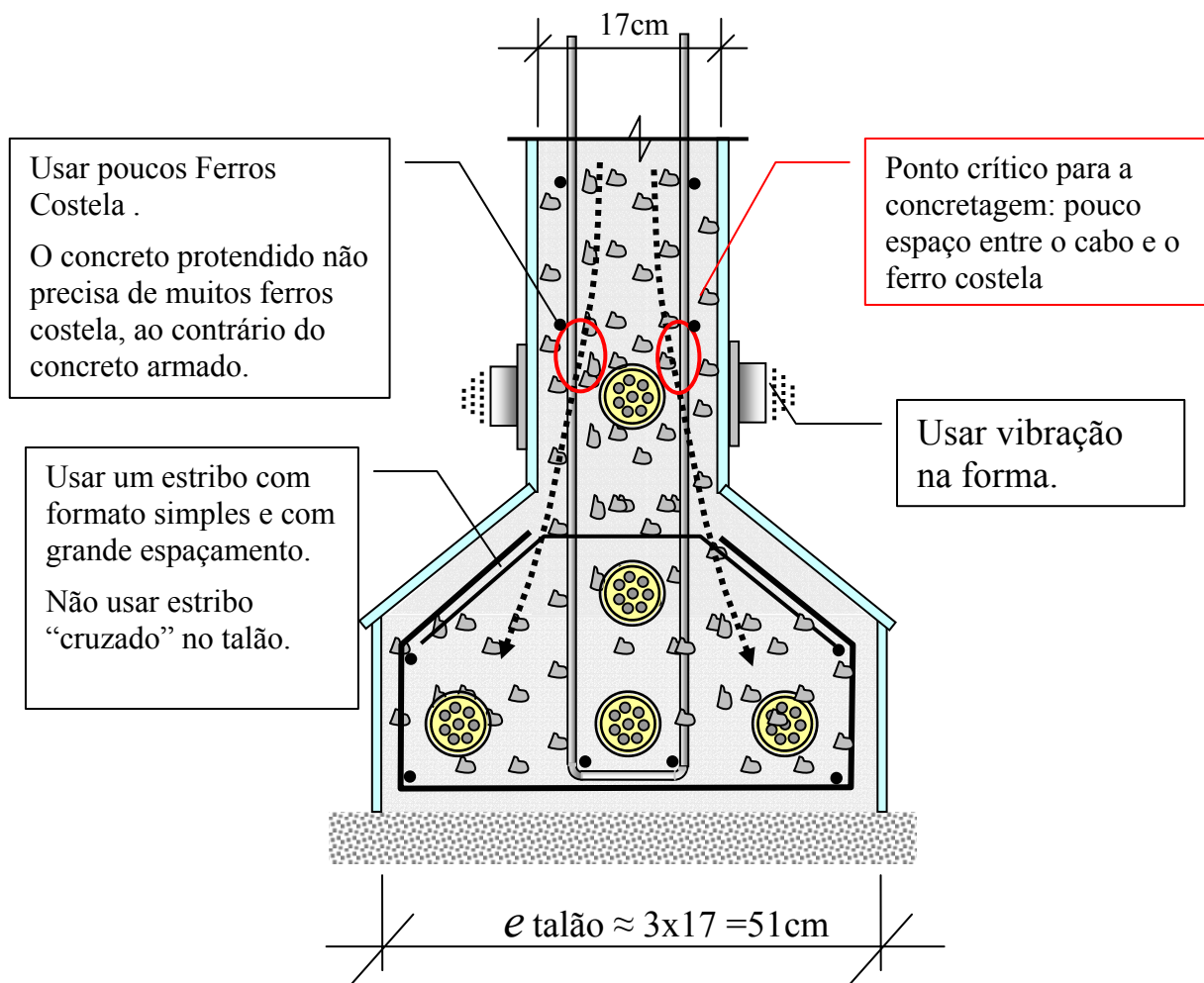


Figura 11



A espessura de 19cm é o mínimo suficiente para garantir uma boa concretagem. O espaço livre, entre os cabos “subindo” na alma da viga e os ferros costela, embora pequeno, permite uma boa concretagem.

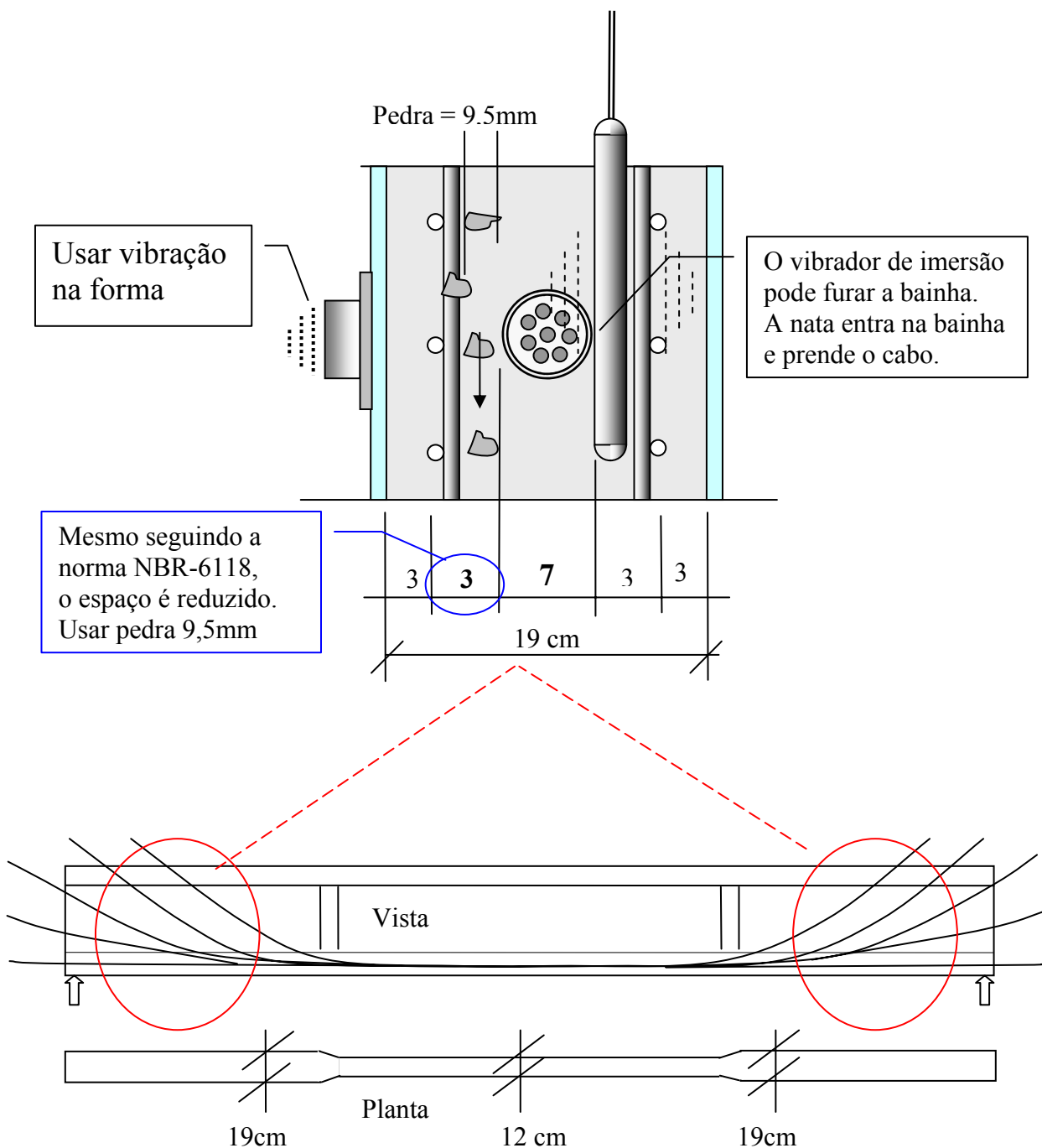


Figura 12

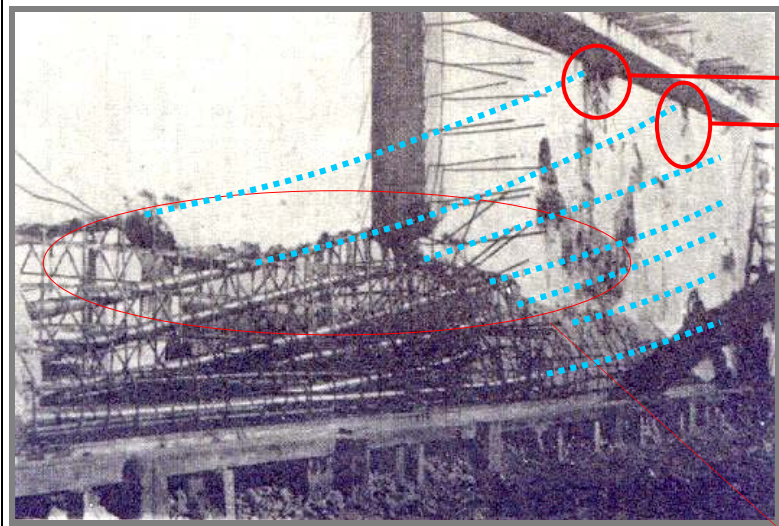
No trecho central da viga, a alma pode ter apenas 12cm, pois não há cabos subindo na alma da viga. Ver Kupfer [8].



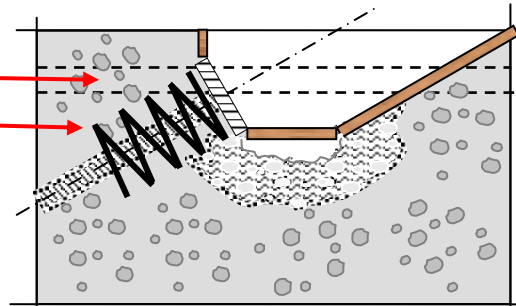
**CASO REAL DE UMA VIGA PRÉ-MOLDADA PROTENDIDA.**

**FALHA DE EXECUÇÃO:** Má concretagem. Grande parte da viga ficou sem concreto.

**ESQUEMA:**

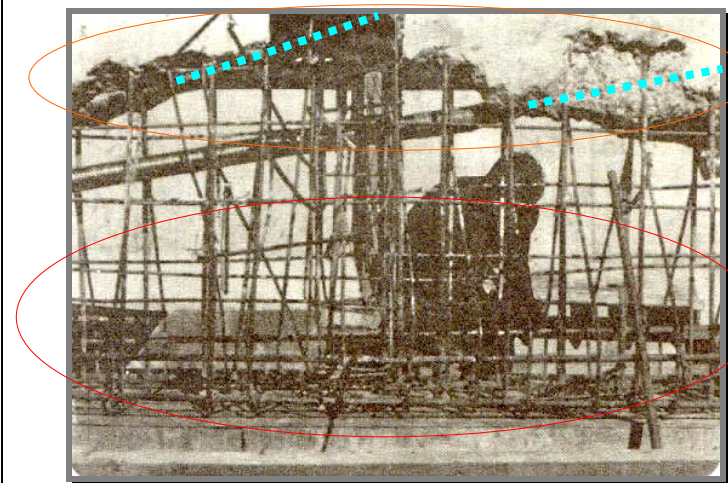


Ver Fernando Uchôa [7]

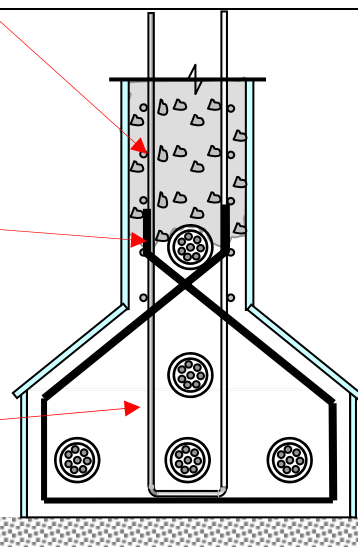


Zona crítica para a concretagem:

- Caixas para saída dos cabos.
- Ver Uchôa F.C. [7]



• Ver Fernando Uchôa [7]



Zona crítica para a concretagem:

- Cruzamento de cabos, ferros costelas e estribos cruzados do talão inferior.

**SOLUÇÕES :**

- Alma da viga com espessura maior.
- Pedra com pequeno diâmetro.
- Super-plastificante no concreto.
- Vibrador externo, de forma.



Referências :

- 1- Yves Guyon – Constructions em Béton Précontraint - Volumes 1 e 2 - Classes. États Limites – Cours CHEBAP - Eyrolles 1966
- 2- Fritz Leonhardt – Construções de Concreto – Volume 1 a 6 - Editora Interciência 1979
- 3- Eduardo Thomaz – Levantamento de dimensões de pontes pré-moldadas protendidas – 1975
- 4- Walter Podolny, Jr – Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation – Concrete cable-stayed bridges and the feasibility of standardization of segmental bridges in the United States of America. FIP 90 – Hamburg 1990
- 5- Kulka, F. , Thoman, S.J. and Lin, T.Y. , “ Feasibility of Standard Sections for Segmental Prestressed Concrete Box Girder Bridges” - Report FHWA/RD -82/024 ( citado em [4]).
- 6- Jörg Schlaich – The design of Structural concrete – IABSE Workshop – New Delhi 1993
- 7- Fernando Uchoa Cavalcanti e Flávio Mota Monteiro – Adaptação de Projetos de Obras de Arte Especiais da Ferrovia do Aço. – Empresa de Engenharia Ferroviária – 1982
- 8- Kupfer Hebert – Tests on Prestressing Shear Reinforcement – Spannbetonbau in der Bundesrepublik Deutschland – 1983 -1986 - FIP 10<sup>th</sup> Congress - New-Delhi 1986.
- 9- Eduardo Thomaz – Notas de aula de Concreto Protendido - Pontes pré-moldadas– IME – 2002 – RJ
- 10- Festschrift Rüsç – Stahlbetonbau – Bericht aus Forschung und Praxis - Editora Wilhelm Ernst & Sohn – Berlin - 1969