

# **TG 6.5** *fib*

## Pontes pré-moldadas

### **UHPC**

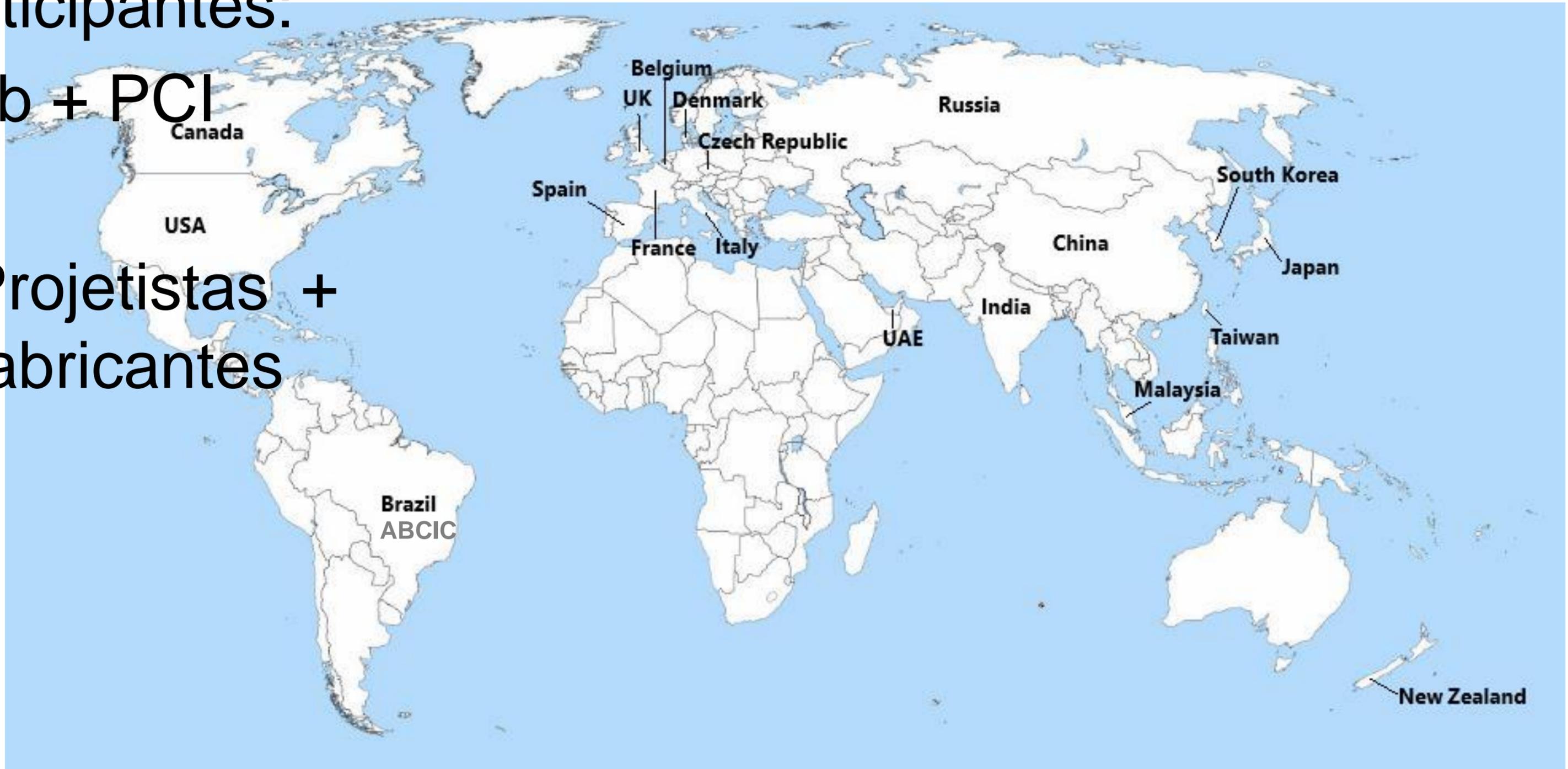
Marcelo Waimberg

## O Grupo Tarefa 6.5 (TG 6.5) da fib

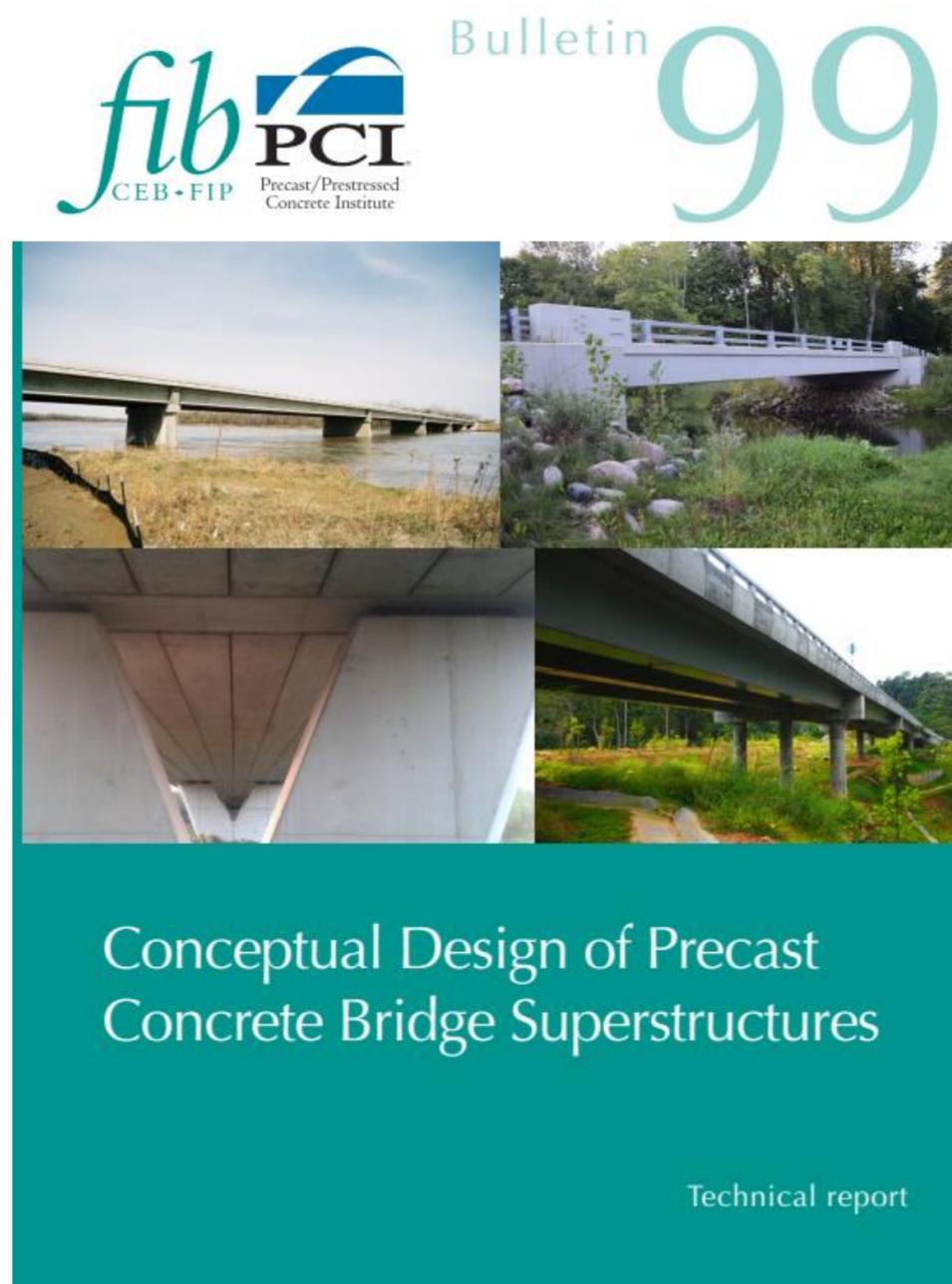
- TG 6.5 – Pontes pré-fabricadas em concreto
- Âmbito da Comissão 6 – pré-fabricação
- ESCOPO:  
“Estudo dos trabalhos mais recentes em pontes pré-moldadas para estabelecer recomendações a proprietários, projetistas, construtores e fabricantes”

# Participantes:

- fib + PCI
- Projetistas + fabricantes

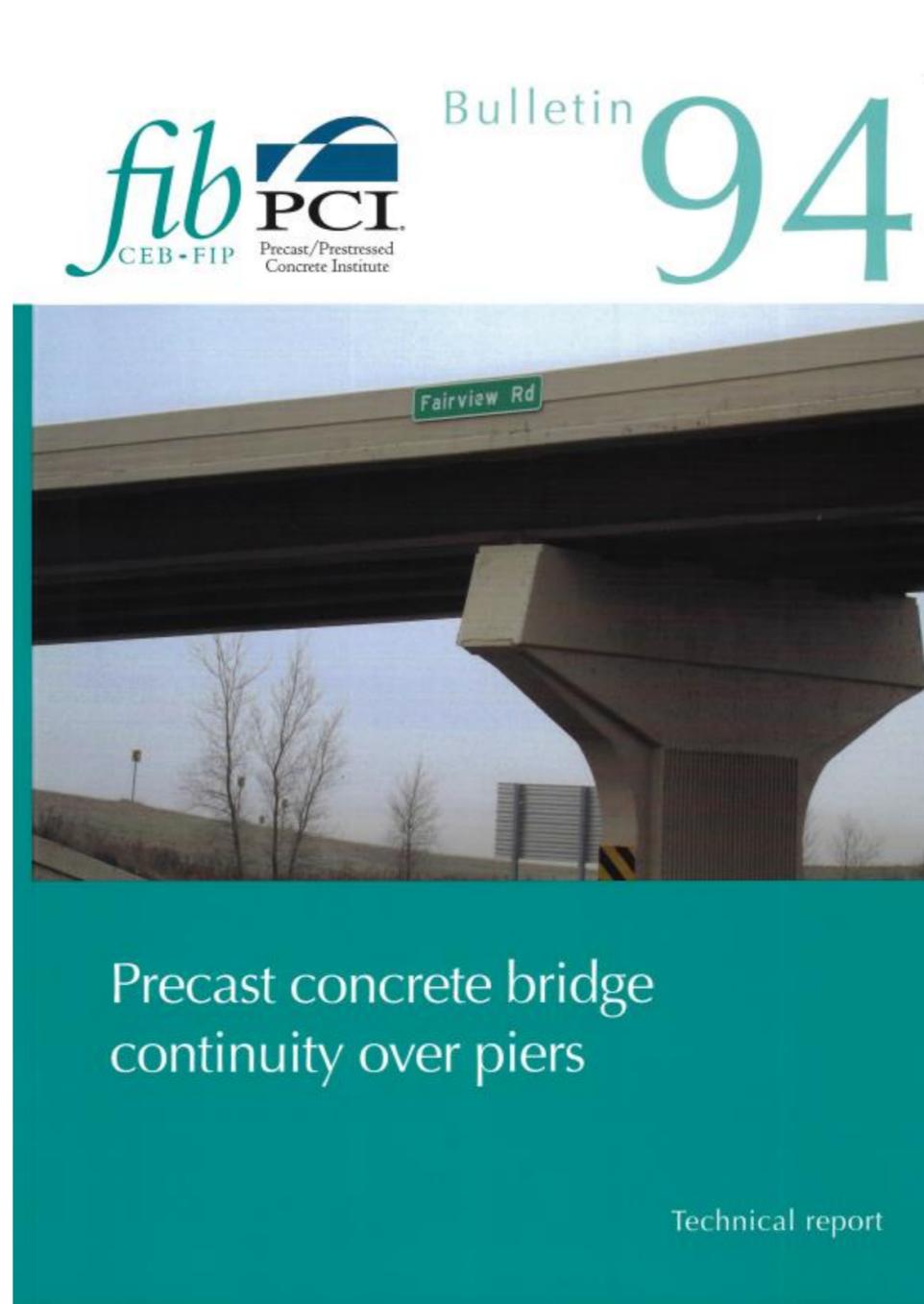


# PRINCIPAIS ATIVIDADES



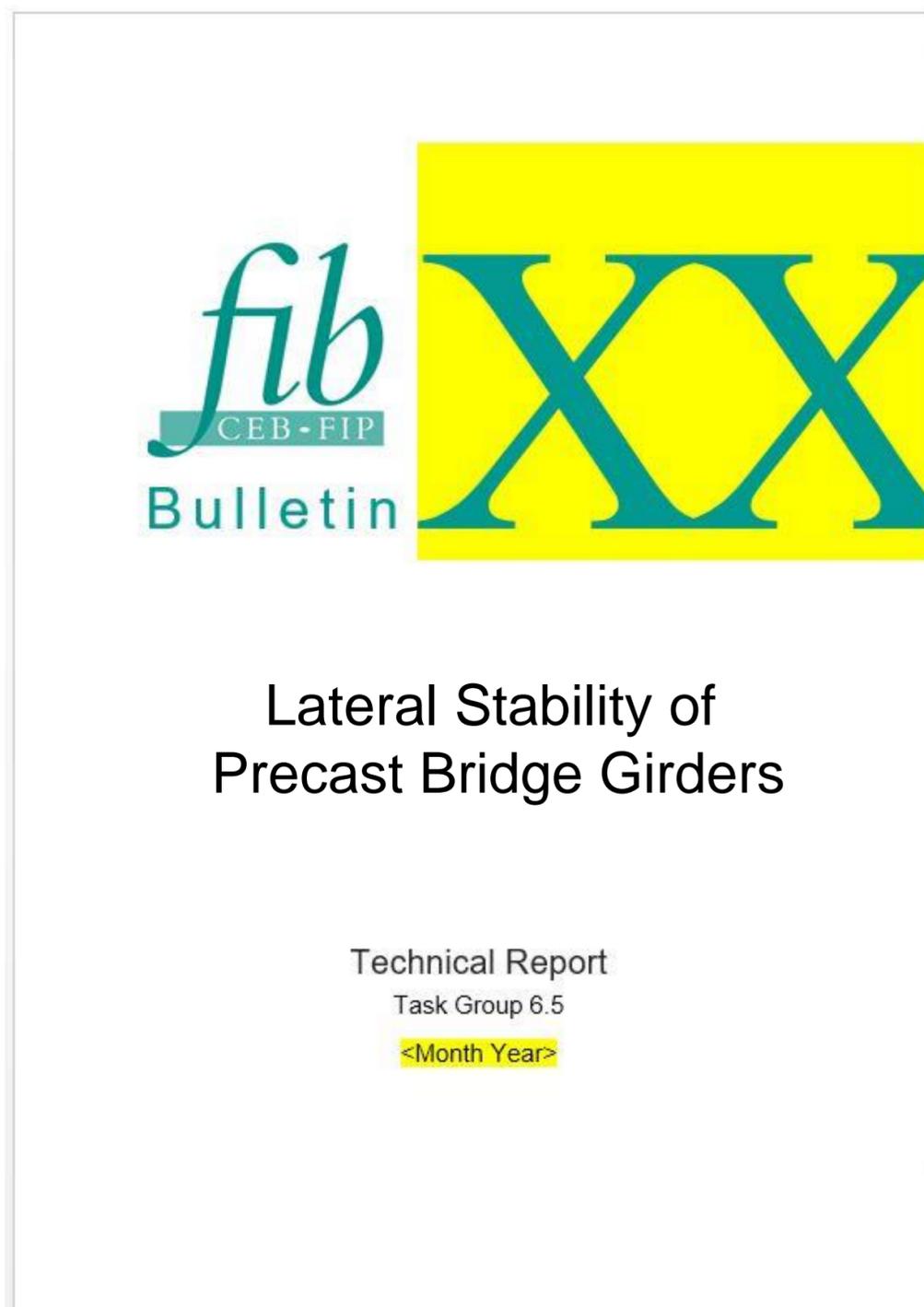
Concepção de OAEs pré-  
moldadas em concreto

- **Concepção das OAE's pré-moldadas:**  
Considerações e “guia” sobre o processo de concepção  
Exemplos segundo as práticas e normas dos diversos países.  
Soluções típicas para uma obra de 150m de extensão.



## Continuidade de pontes pré- moldadas em concreto

- Continuidade posterior s/ apoios intermediários:  
Critérios de projeto – efeitos em função do tempo:
  - Cargas aplicadas em diferentes idades
  - fluência
  - retração



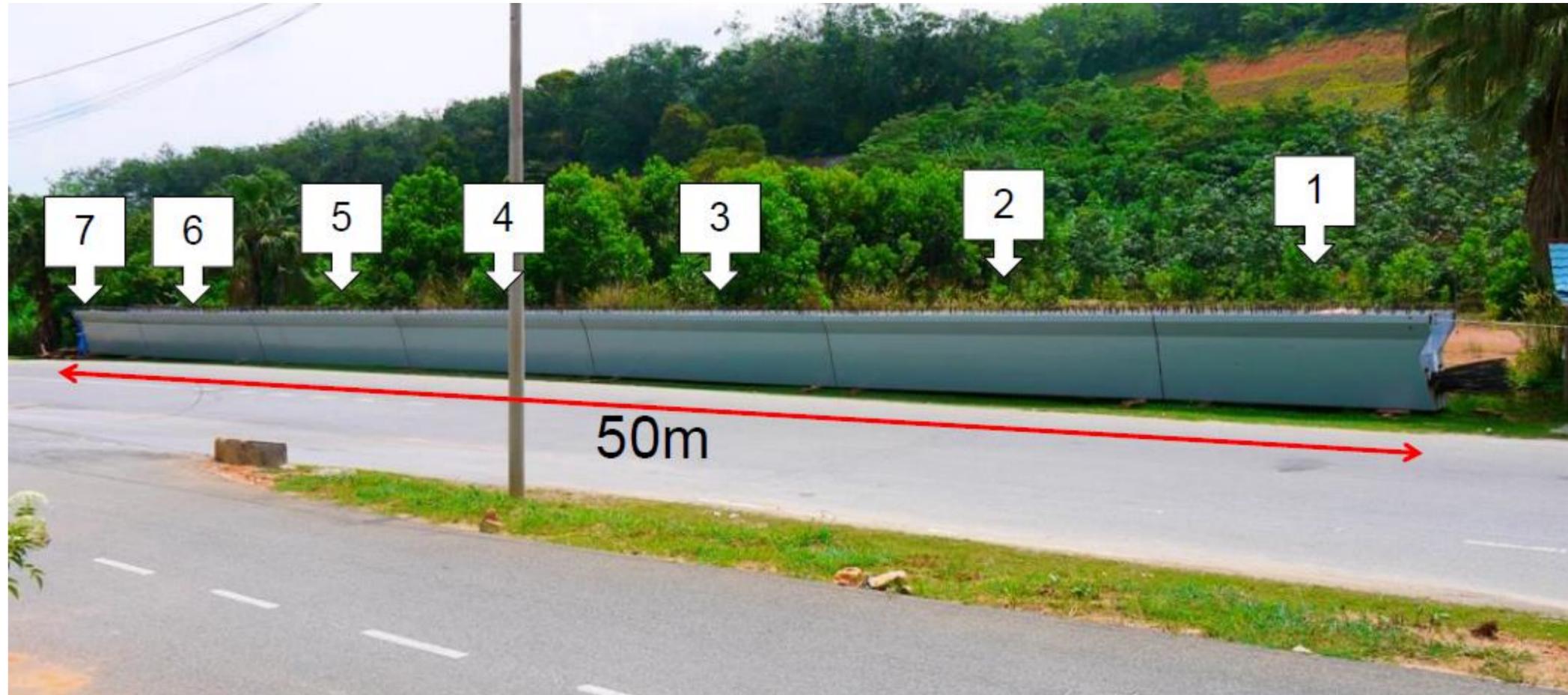
## Estabilidade lateral de vigas pré-moldadas

Documento em fase final de revisão

- **Estabilidade lateral:**
  - Içamento/movimentação no canteiro
  - Transporte
  - Montagem
  - Critérios de projeto - tolerâncias

# CONCRETO DE ULTRA ALTO DESEMPENHO - UHPC

## MOTIVAÇÃO – EXPERIÊNCIA DA MALÁSIA



**Vigas U – 50m – fabricação segmentada**



**Viga U – 100m – segmentos solidarizados sobre cimbramento metálico**



**Viga U – fabricação dos segmentos**



**Viga U – montagem**



**“Zero” penetração de cloretos**

# O Concreto de Ultra Alto Desempenho (CUAD ou UHPC):

- Adição de pós reativos
- Sem agregado graúdo
- Baixo fator a/c (~0,25)
- Superplastificantes
- Adição de fibra metálica

## Resultados:

- Elevada resistência à compressão (~200MPa)
- Elevada resistência à tração (~20MPa)
- Concreto muito compacto/baixa permeabilidade
- Baixa retração hidráulica e fluência
- Alta durabilidade
- Menores dimensões (e peso)
- Reduzido consumo de aço

# DIVERSAS APLICAÇÕES



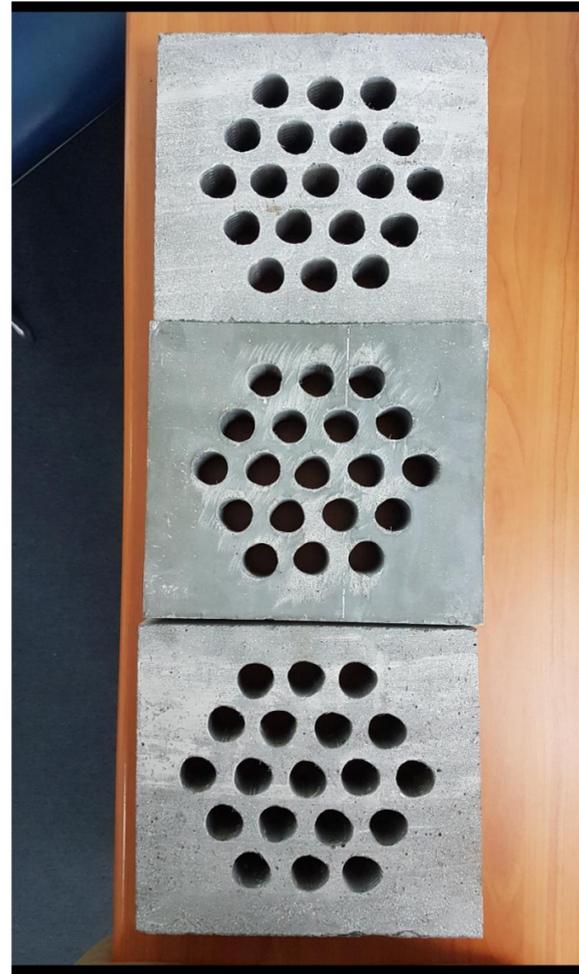
**Viga U – vão de 65m, 170ton**



**Reduzida permeabilidade**



## Consolidação de elementos pré-moldados



**Sela para cabos em pontes estaiadas**



Precast Ultra-High  
Performance Concrete  
Bridge Superstructures

Technical report  
Task Group 6.5

<Month Year>

Documento em  
elaboração

## ASPECTOS COBERTOS NO DOCUMENTO

- Produção do material – propriedades do material fresco
- Propriedades do material endurecido
- Critérios de dimensionamento (ELU, ELS – flexão, cisalhamento)
- Desafios de produção (volume de betonada, lançamento do concreto, juntas de concretagem, etc)
- Exemplos

# ESTUDO DE TRAÇOS

## 1. EUA – projeto do PCI

- 7 diferentes traços ensaiados
- Especificação de controles de execução
- Controles do concreto fresco e endurecido

**Table 3.2-1. Summary of The Developed UHPC Mixtures**

Material	UHPC Mixture (lb/yd <sup>3</sup> )						
	1	2	3	4	5	6	7
Cement	1,500 (Type III)	1,272 (Type III)	1,570 (Type I/II)	1,380 (White Type I/II)	1,424 (Type I/II)	1,207 (Type I/II)	1,075 (Type GUL)
Silica Fume	375	318	398	300	350	160	340
Supplemental Material	--	140 (Limestone)	--	250 (Limestone)	--	585 (Slag)	357 (Slag)
Sand, lb.	1,655	1,848	1,525	1,522	1,904	1,637	1,770
Water + Ice	277	269	339	361	240	306	228
High-Range Water Reducer	104 (Premia 150)	70 (MasterGlenium 7920)	59 (MasterGlenium 7920)	24.2 (Superflo 2040RM)	80 (Premia 150)	47 (Premia 150)	67.2 (BASF Product)
Other Admixture	--	6.0 (MasterSet Delvo)	7.9 (V-Mar F100)	25.9 (ExtendFlo X90)	7.6 (Optima 100)	6.8 (Optima 100)	13.0 (MasterSure Z-60)
Steel Fiber	264	262	265	264	265	265	266
w/b	0.187	0.184	0.196	0.205	0.187	0.176	0.146

\* Use the factor of 0.593 to convert from lb/yd<sup>3</sup> to kg/m<sup>3</sup>

**Table 3.2.1.3-1. Minimum Recommended Acceptance Testing Frequencies - Plastic Properties**

Property	Test Method	Minimum Frequency
Flow	ASTM C1856	Each batch
Temperature	ASTM C1064	Each batch
Density	ASTM C138, modified	First batch per day, whenever test specimens are cast, and whenever a change in quality is suspected

**Table 3.2.1.4-1. Minimum Recommended Acceptance Testing Frequencies - Hardened Properties**

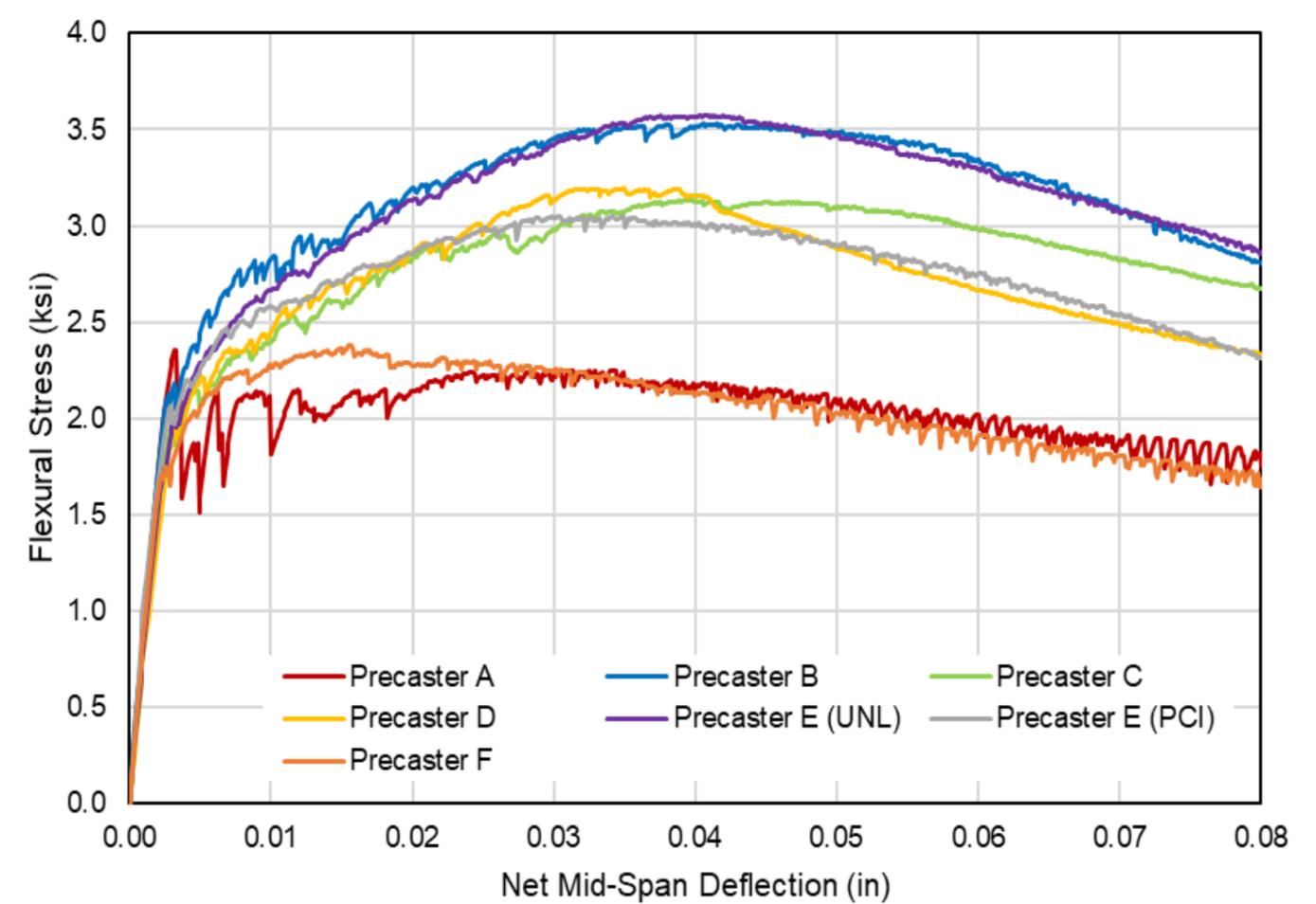
Property	Test Method	Minimum Frequency
Compressive Strength	ASTM C1856	6 cylinders from one batch per day or every 25 yd <sup>3</sup> , whichever is more frequent; test 3 cylinders at prestress release and 3 cylinders at 28 days (or as defined by the Engineer of Record in consultation with local producers)
First-Peak (First-Crack) Flexural Strength	ASTM C1856	3 beams from one batch per day per mix design. If the volume exceeds 25 yd <sup>3</sup> , an additional 3 beams are required. Test at 28 days (or as defined by the Engineer of Record in consultation with local producers)
Peak (Ultimate) Flexural Strength		
Residual Flexural Strength		

Table 3.2-3. UHPC Mixtures Performance

Property	Target*	UHPC Mixture						
		1	2	3	4	5	6	7
Lab-cured, ksi	≥ 17.40	24.19	17.90	18.97	16.29	18.02	17.31	18.16
Cured with product, ksi	≥ 17.40	22.84	17.83	19.78	16.66	--	--	--
Cured 72 hr at 194 °F, ksi	≥ 17.40	--	--	--	19.33	--	--	--
First peak, ksi	≥ 1.50	2.36	2.19	1.96	2.10	2.11	2.14	1.76
Peak, ksi	≥ 2.00	2.47	3.62	3.17	3.25	3.12	3.62	2.44
Peak, % of first peak	≥ 125%	105%	166%	162%	154%	148%	170%	139%
Residual at L/150, % of first peak	≥ 75%	78%	129%	137%	111%	110%	136%	98%

\* Target specified at service but measured at 28 days.

\*\* 1 ksi = 6.89 MPa



fck = 115 a 167 MPa

fctk = 17 a 25 MPa

## 2. Malásia – DURA UHPC

- Especificação de controles de execução
- Controles do concreto fresco e endurecido (valores mínimos)

*Table 3.3-1. Mix design of DURA® UHPC*

Ingredient	Qty, Kg/m <sup>3</sup> (lb/yd <sup>3</sup> )
Cement (CEM I 42.5N)	850 (1433)
Silica fume (Densified, Grade 920)	200 (337)
Silica sand (0.1 – 1.2mm (0.004 – 0.047 in.))	1050 (1770)
Superplasticizer (DURA® ADX-2813)	28 (47)
High strength steel fiber (straight)	118 (199) (1.5% by vol.)
Water	170 (287)

$f_{ck} = 150 \text{ MPa}$

$f_{ctk} = 8 \text{ MPa}$

### 3. Espanha – Universidade de Madrid / Acciona - Controles do concreto fresco e endurecido

*Table 3.4-1. Mix design of Acciona HPFRC*

Ingredient	Qty, Kg/m <sup>3</sup> (lb/yd <sup>3</sup> )
Cement	500 (843)
Silica fume	50 (84)
Quartzite sand (0 – 6 mm (0.24 in.))	978 (1648)
Quartzite coarse (6 – 12 mm (0.24 – 0.47 in.))	796 (1342)
Superplasticizer (Sikaviscocrete 90 NG)	9 (15)
Plasticizer (Sikament 3003 NG)	4 (7)
Steel fiber (BEKAERT 4D Plus 80/60)	80 (135) (1% by vol.)
Water	150 (253)

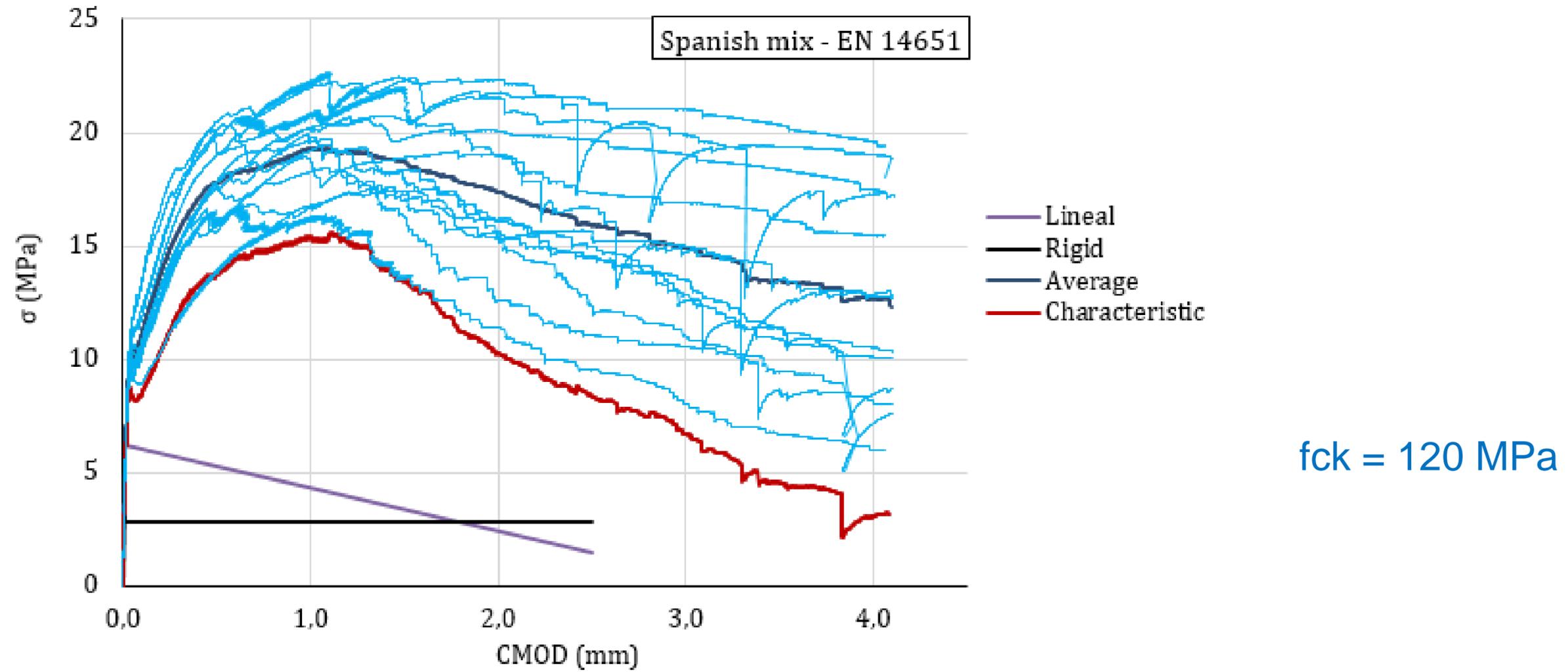


Figure 3.4-1. Flexural Stress versus Crack Mouth Opening Deflection (CMOD) Diagrams Using Normative UNE-14651 Test

## 4. Bélgica – ERGON

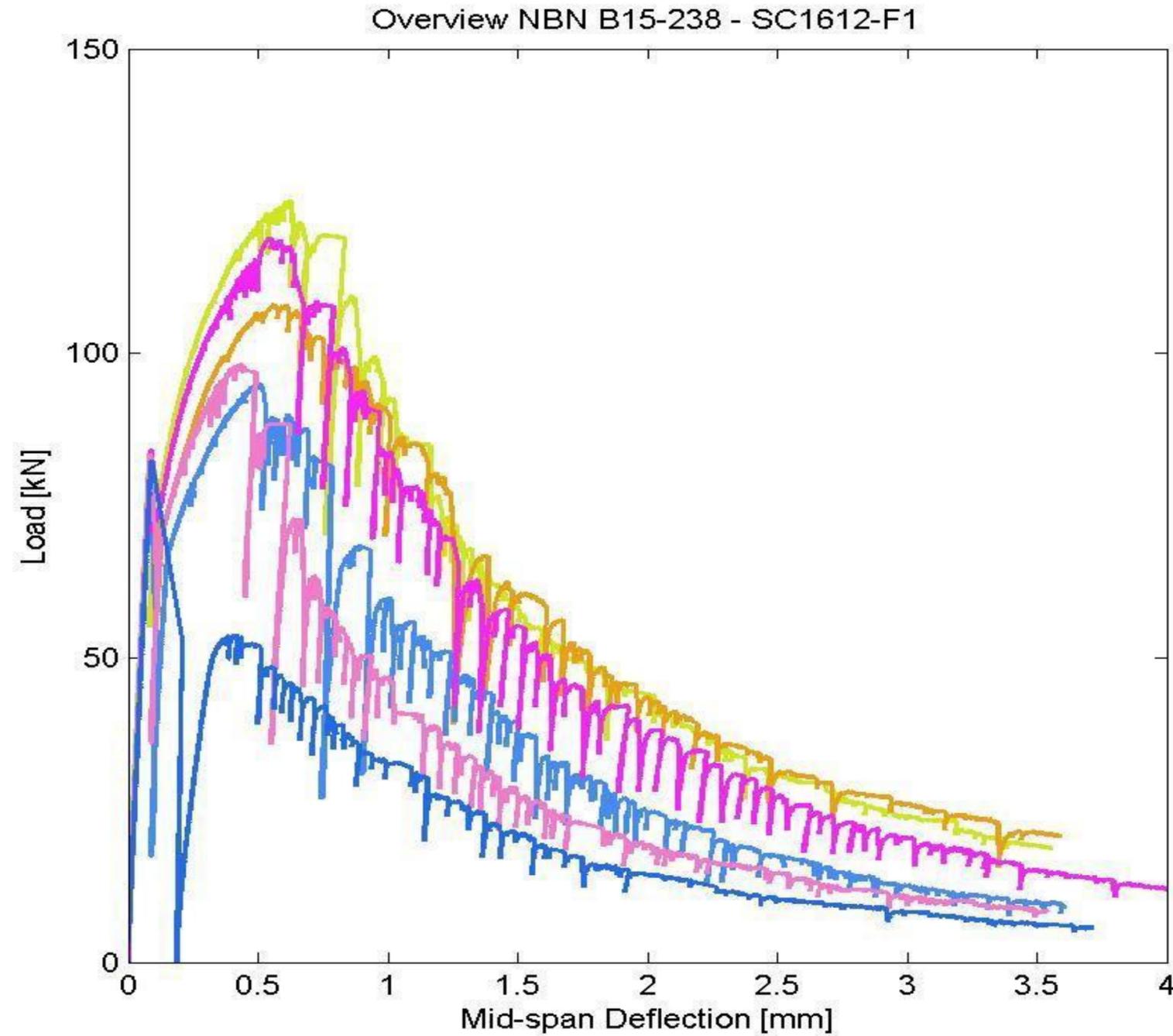
### - Controles do concreto fresco e endurecido

*Table 3.5-1. UHPC Mix design From Belgium*

Ingredient		Qty, Kg/m <sup>3</sup> (lb/yd <sup>3</sup> )
Cement	CEM I 42,5 R	830 (1399)
Quartz powder	7 mm (0.28 in.)	83 (140)
Quartz sand	0/0,5	335 (565)
Porphyry	2/4 R	723 (1219)
Silica fume	Solid fraction	166 (280)
Water		<del>12 (20)</del>
Superplasticizer	Polycarboxylate 30%	24 (40)
Fibers	6 mm (0.2 in.) + 30 mm (1.2 in.)	79 (133)

*Table 3.5-2. Overview of Test Specimens and References*

Test	Reference	Test Specimen, mm (in.)	Series Number
1a. Compressive strength $f_{c,pr}$	NBN EN 12390-3	Cylinder d = 150 (5.9), h = 300 (11.8)	C1
	NBN EN 12390-3	Cube 150 (5.9)	C2
1b. Modulus of elasticity	NBN EN 12390-13	Cylinder d = 150 (5.9), h = 300 (11.8)	E1
2. Provision $f_{ct,rd}$ , 4-point bending test	NBN B15 -238	Prism 150x150x600 (5.9x5.9x23.6)	F1
3. Provision Sigma-crackwidth, through 2 options:			
3a Bending tests according to 3- point bending test and performance inverse analysis (2)	NBN EN 14651	Prism 150x150x600 (5.9x5.9x23.6)	F2
3b Bending tests according to 3- point bending test for check	NBN EN 14651	Prism 100x100x400 (3.9x3.9x15.8)	F3
3c Direct tensile test on cylinders (performance by means of VUB)		Cylinder d = 150 (5.9), h = 300 (11.8)	T1



$f_{ck} = 151 \text{ MPa}$   
 $f_{ctk} = 7,3 \text{ a } 10,7 \text{ MPa}$

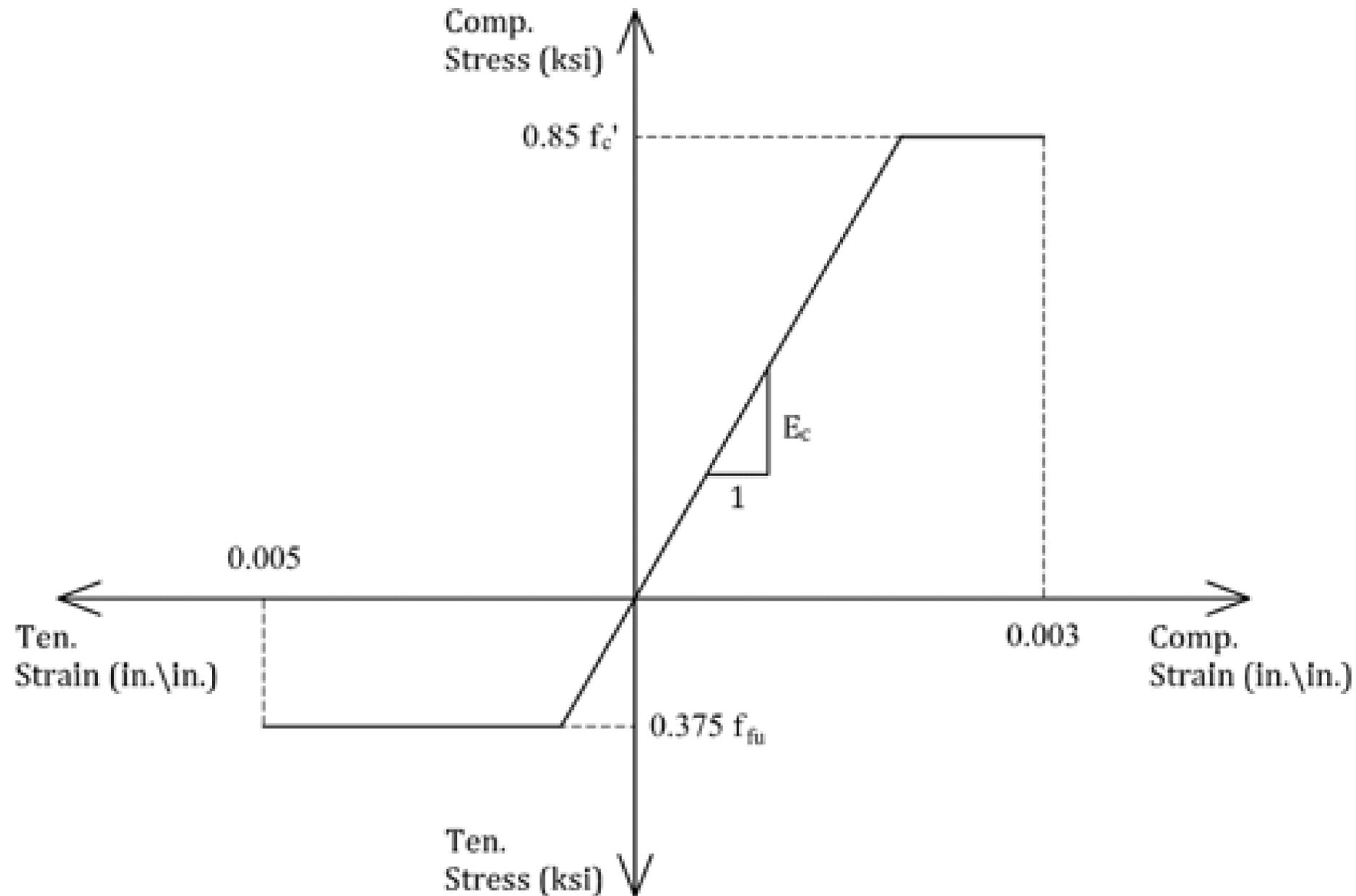
# DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO

1. Diagramas tensão x deformação
2. Critérios de dimensionamento:

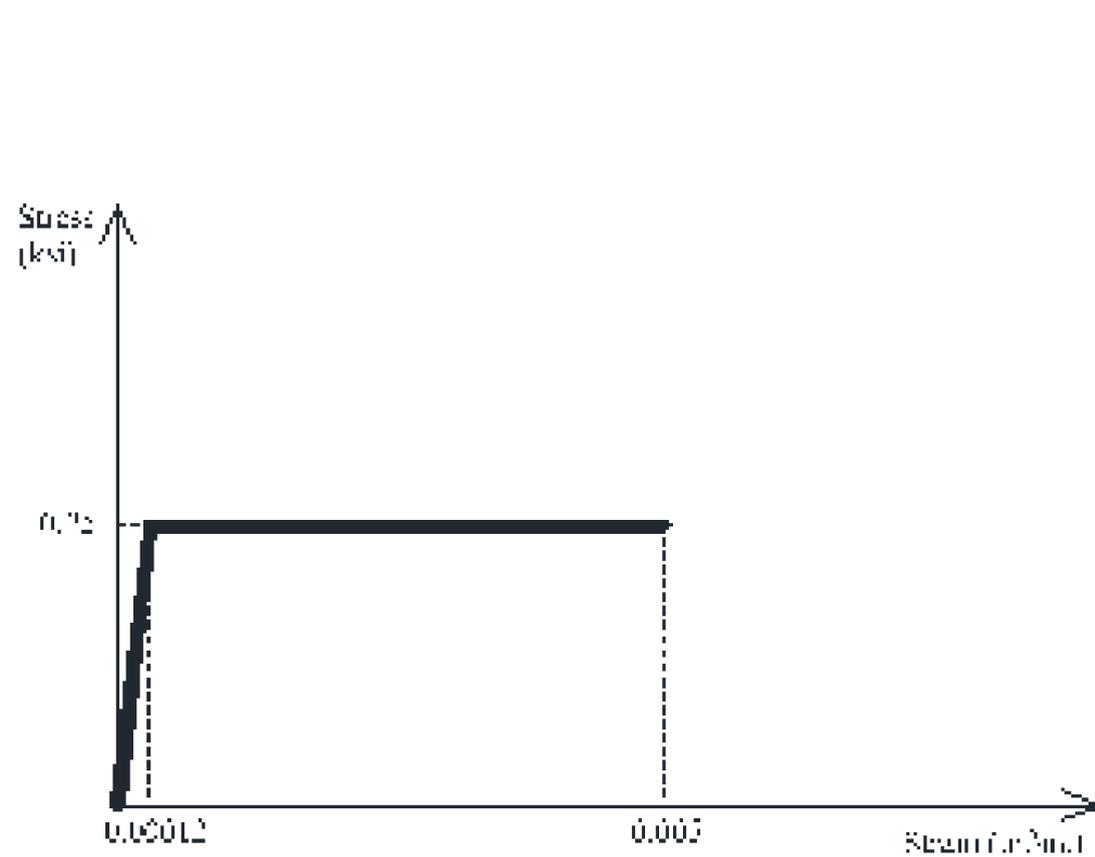
## 2.1. EUA (PCI)

- ELServiço – evitar fissuração (e fadiga!)
- ELÚltimo
  - Elementos secundários sem armadura
  - Elementos com armadura (protendida, desprezar fibras)
  - Armadura mínima para elementos principais

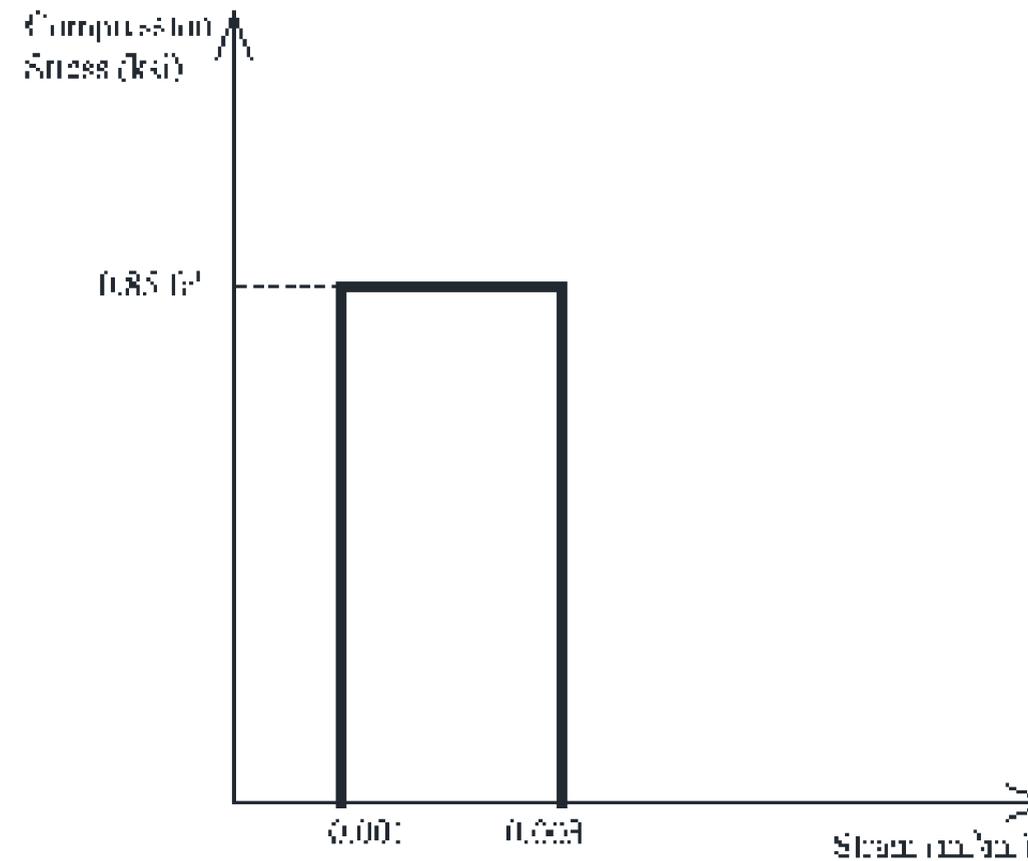
# - Diagrama tensão x deformação simplificado



## - Aproximação para ELU



Tração  
(elasto-plástico perfeito)

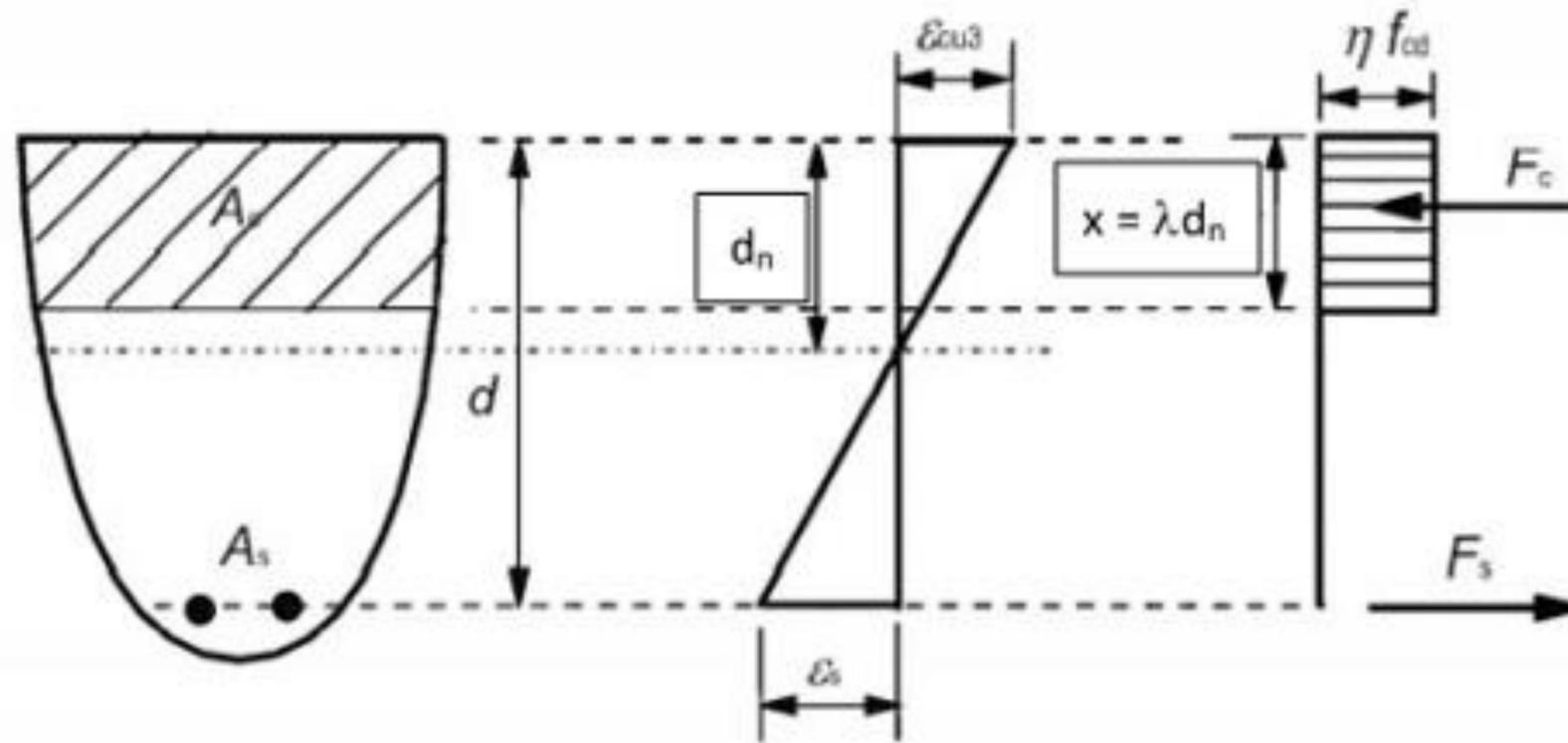


Compressão  
(bloco uniforme)

## 2.2. MALÁSIA

- ELServiço
  - Baseado na norma Francesa (evitar fissuração)
  
- ELÚltimo
  - Adequação Eurocódigo para concreto convencional
  - Diagrama tensão x deformação análogo ao PCI

- Diagrama tensão x deformação análogo ao PCI



(desprezar fibras)

## 2.3. EUROCÓDIGOS

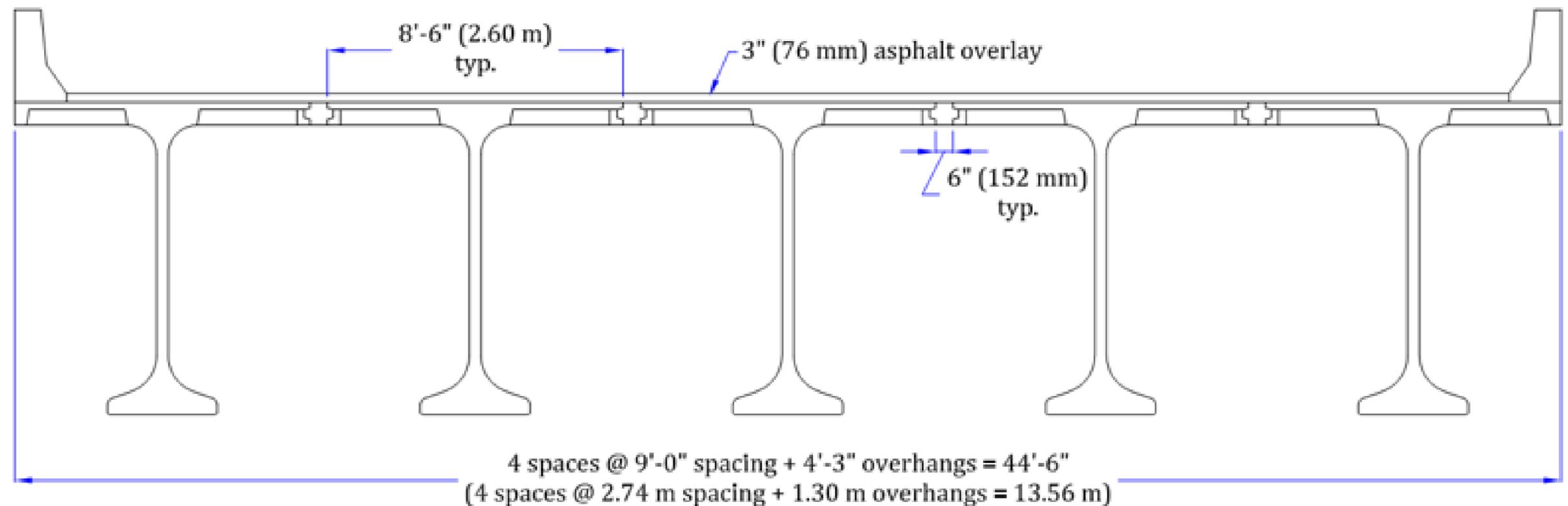
- Em preparação

# EXEMPLOS COMPARADOS

## 1. Viga I de 76,2m

Dimensionamento segundo:

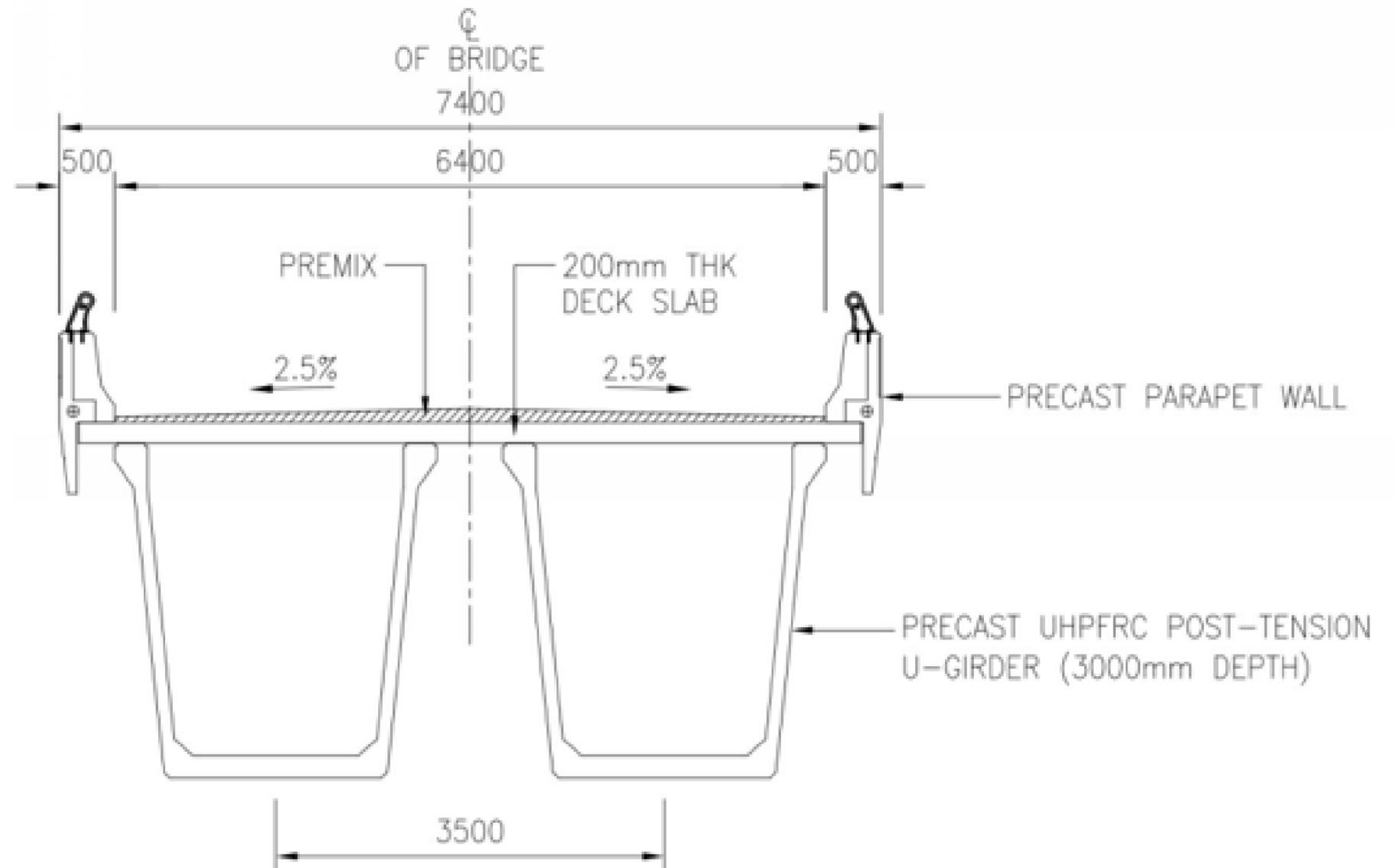
- PCI
- Eurocode
- Malásia



## 2. Viga U de 70m (segmentada)

Dimensionamento segundo:

- PCI
- Eurocode
- Malásia



# DIMENSIONAMENTO AO CISALHAMENTO

## 1. EUA (PCI)

### - Recomendações / limitações

Resistências mínimas à compressão e tração

Dutilidade mínima

Espessura mínima de alma

Comprimento máximo das fibras

### - Dispensa de armadura

## - ELÚltimo

$$V_n = V_{cf} + \cancel{V_s} + V_p$$

$$V_{cf} = \left(\frac{4f_{rr}}{3}\right) b_v d_v \cot \theta \quad (f_{rr} \text{ é a resistência residual à tração na flexão})$$

$$V_n \leq 0.18 f'_c b_v d_v$$

## - ELServiço

Evitar fissuração – não é necessário verificar ELU fadiga

## 2. MALÁSIA

### - ELÚltimo

$$V_{Rd} = V_{Rd,c} + \cancel{V_{Rd,s}} + V_{Rd,f}$$

$$V_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_{cf}\gamma_E} k f_{ck}^{1/2} b_w h \quad (\text{s/ armadura, } k \text{ é função da protensão})$$

$$V_{Rd,f} = A_{fv} \sigma_{Rd,f} \cot\theta$$

$$\sigma_{Rd,f} = \frac{1}{K \gamma_{cf}} \frac{1}{w^*} \int_0^{w^*} \sigma_f(w) dw \quad (6.210)$$

$$w^* = \max(w_w; 0.3mm) \quad (6.211)$$

$\sigma_{Rd,f}$  = is the mean value of the post-cracking strength along the shear crack of inclination  $\theta$ , and perpendicular to it.

$$V_{Rd,max} = 2.3 \frac{\alpha_{cc}}{\gamma_c} b_w \cdot z f_{ck}^{2/3} \tan\theta$$

## 3. EUROCÓDIGOS

- **Em preparação**

# EXEMPLOS COMPARADOS

Viga I de 76,2m e Viga U de 70m

Dimensionamento segundo:

- PCI
- Eurocode
- Malásia

**OBRIGADO PELA ATENÇÃO**