



Sessão CORUJÃO Paradoxos da Engenharia de Concreto Estrutural



Cláudio Sbrighi Moderador



Paulo Helene
IBRACON
PhD Engenharia

Curitiba, 29 de outubro 2025

Responder aos paradoxos:

1. Como concretos de alto consumo de cimento e baixa relação a/c, podem ser mais sustentáveis e mais econômicos?
2. Porque quanto maior a idade de referência do f_{ck} , (t_{ref}) maior a sustentabilidade e menor o custo da estrutura?
3. Porque quanto mais tarde atuarem as cargas sobre a estrutura, mais barata será a estrutura e menor a emissão de gases tipo estufa?



Responder aos paradoxos:

1. Como concretos de alto consumo de cimento e baixa relação a/c, podem ser mais sustentáveis e mais econômicos?
2. Porque quanto maior a idade de referência do f_{ek} , a t_{ref} maior a sustentabilidade e menor o custo da estrutura?
3. Porque quanto mais tarde atuarem as cargas sobre a estrutura, mais barata será a estrutura e menor a emissão de gases tipo estufa?



consumo de cimento dos 2 concretos

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

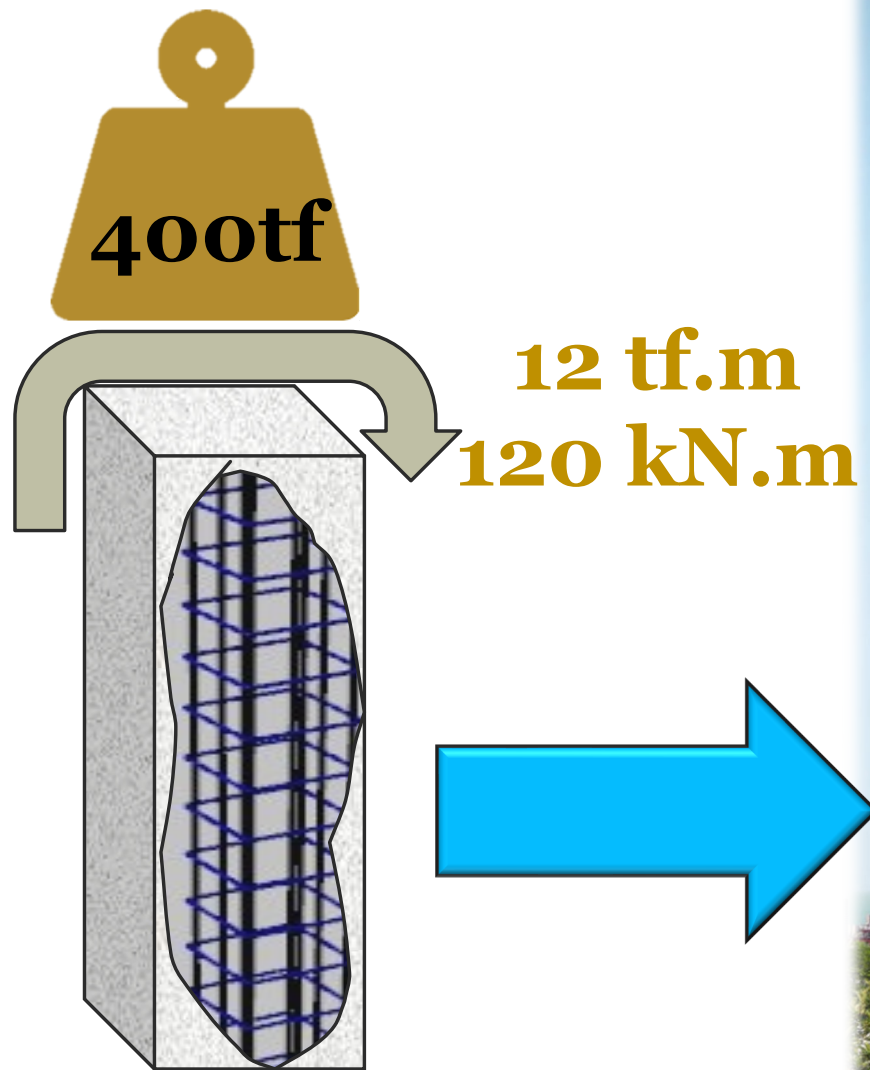
→ 28 dias

- $f_{cm} = f_{ck} + 6,6 = 26,6 \text{ MPa}$
- cimento CP III → 10 kg/MPa
- CP III → 365 kg CO₂eq./t
- consumo = $26,6 * 10 = 266 \text{ kg/m}^3$
- 97 kg CO₂eq/m³

$$f_{ck} = 50 \text{ MPa}$$

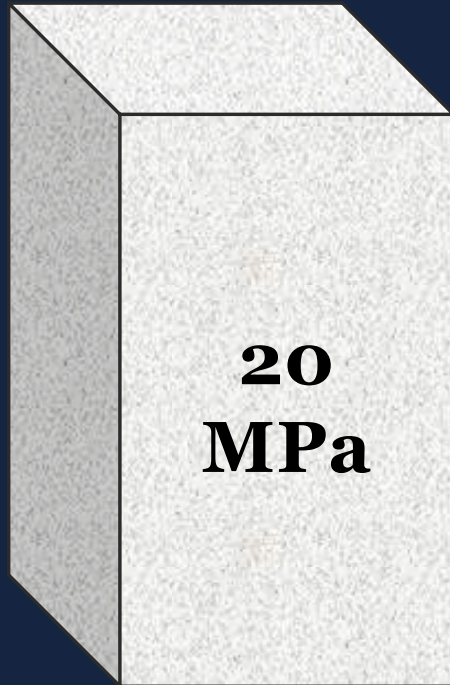
→ 28 dias

- $f_{cm} = f_{ck} + 6,6 = 56,6 \text{ MPa}$
- cimento CP III → 7,0 kg/MPa
- CP III → 365 kg CO₂eq./t
- consumo = $56,6 * 7,0 = 396 \text{ kg/m}^3$
- 145 kg CO₂eq/m³



As ações “permanentes” correspondem a 75% da força normal total

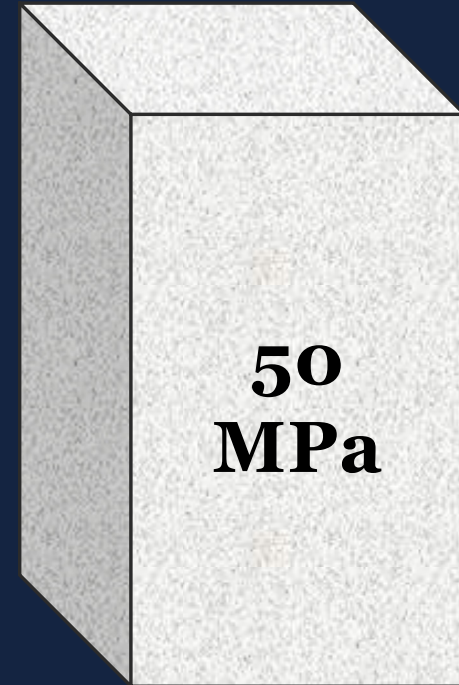




armadura

0,4%

4,0%



cimento (CP III) $\rightarrow 365 \text{ kg CO}_2\text{eq./t}$

CA 50 $\rightarrow 1.080 \text{ kg CO}_2\text{eq./t}$

considerando um tramo de pilar de 2,9m de altura

410 $kgCO_2eq.$

200 $kgCO_2eq.$

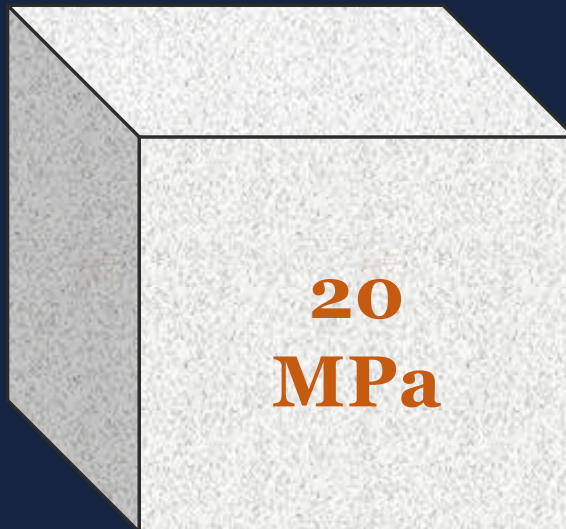
f_{ck} 28 dias

CP III

4,0%

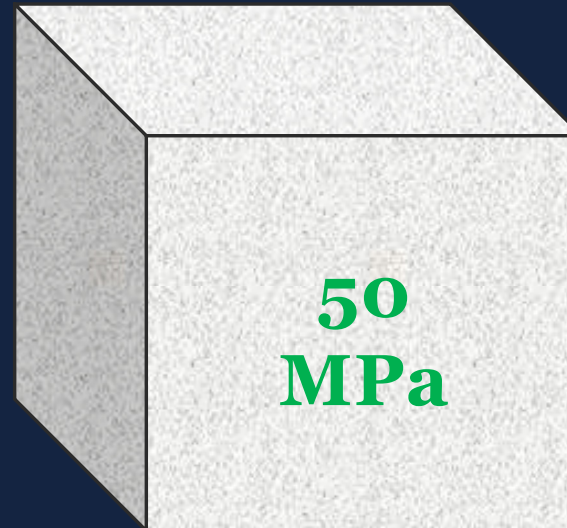
20 ϕ 25 mm

50 cm



**20
MPa**

50 cm



**50
MPa**

f_{ck} 28 dias

CP III

0,8%

4 ϕ 25 mm

4 ϕ 20 mm + 4 ϕ 16 mm

Responder aos paradoxos:

- ~~1. Como concretos de alto consumo de cimento e baixa relação a/c, podem ser mais sustentáveis e mais economicos?~~
2. Porque quanto maior a idade de referência do f_{ck} , maior a sustentabilidade e menor o custo da estrutura?
- ~~3. Porque quanto mais tarde atuarem as cargas sobre a estrutura, mais barata será a estrutura e menor a emissão de gases tipo estufa?~~

exemplo: passar de $t_{ref} = 28$ dias para $t_{ref} = 63$ dias



consumo de cimento dos 2 concretos

$$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

→ aos 28 dias

- $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 48 \text{ MPa}$
- cimento CP III → 7,5 kg/MPa
- consumo = $48 * 7,5 = 360 \text{ kg/m}^3$

$$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

→ aos 63 dias

- *aos 28 dias:*
- $f_{cm} = 48/1,10 = 43,7 \text{ MPa}$
- cimento CP III → 7,5 kg/MPa
- consumo = $43,7 * 7,5 = 330 \text{ kg/m}^3$

consumo de cimento em concretos

$$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

- $f_{cm} = f_{ck} + 8$

- cimento CP III

- consumo = $48 * 7,5$

... passar de $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$ a **28 dias** para $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$ a **63 dias**, com cimento CP III, economiza **30 kg de cimento por m³** e emite menos **11 kg CO₂eq. por m³**. Numa obra de 1.500 m³ significa **16,5 t de CO₂eq. a menos!!!!**

$$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

s

MPa

$$7,5 \text{ kg/MPa}$$

$$3,7 * 7,5 = 330 \text{ kg/m}^3$$

Responder aos paradoxos:

1. Como concretos de alto consumo de cimento e baixa relação a/c , podem ser mais sustentáveis e mais econômicos?
2. Porque quanto maior a idade de referência do f_{ek} , a t_{ref} maior a sustentabilidade e menor o custo da estrutura?
3. Porque quanto mais tarde atuarem as cargas sobre a estrutura, mais barata será a estrutura e menor a emissão de gases tipo estufa?



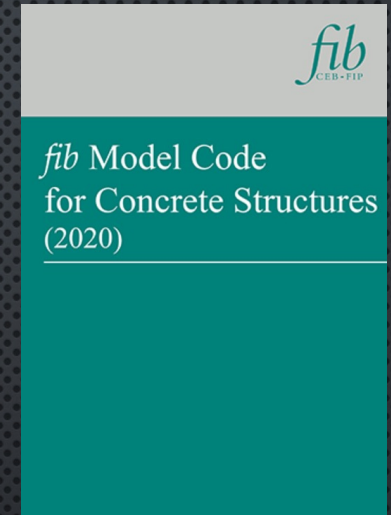
Resistência de projeto *fib* Model Code 2020.

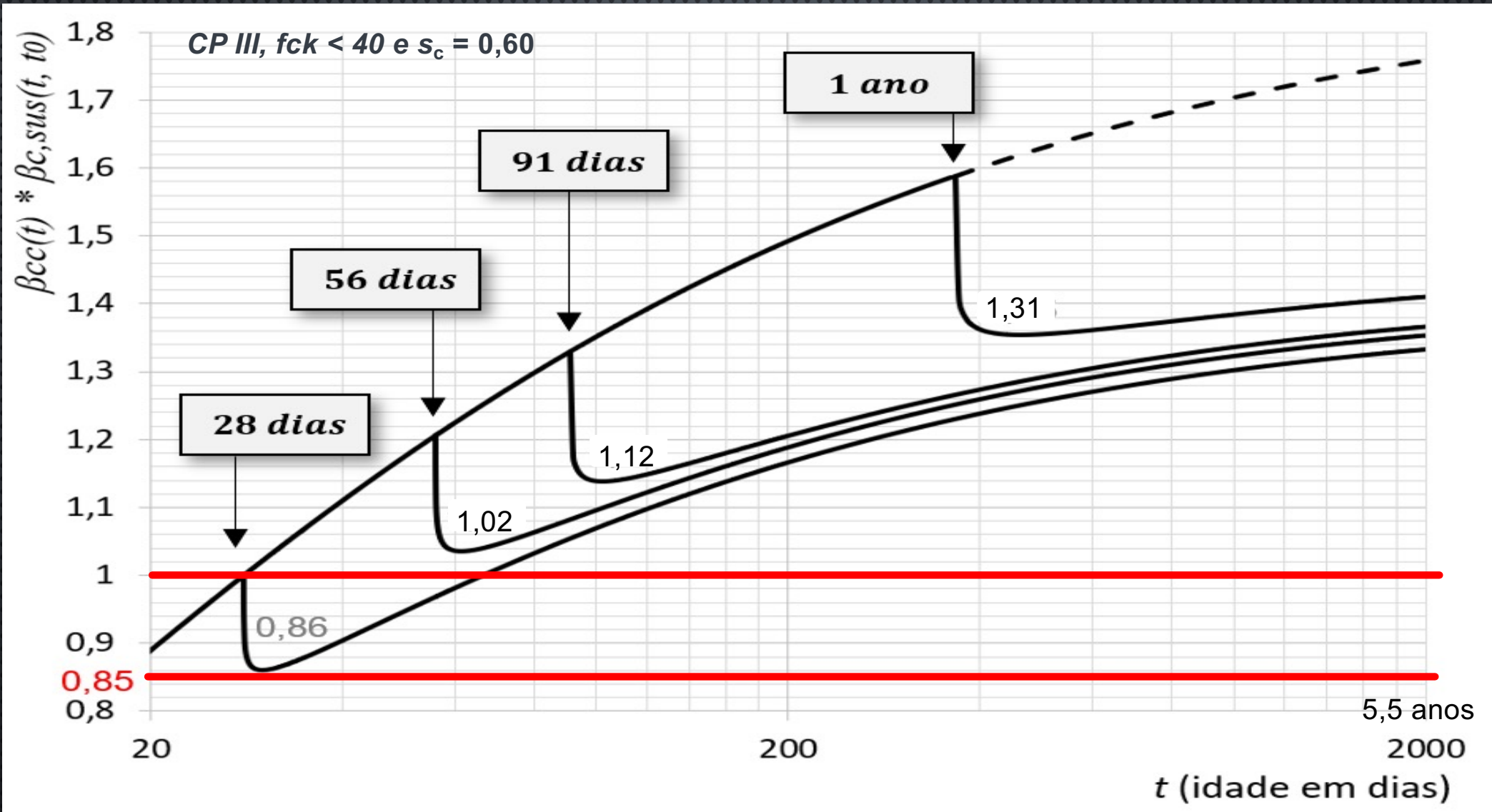
$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \eta_{fc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Ainda, de acordo com *fib* Model Code:

$$\alpha_{cc} = \beta_{cc}(t) * \beta_{c,sus}(t, t_o)$$

$$f_{cd} = \beta_{cc}(t) * \beta_{c,sus}(t, t_o) * \eta_{fc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$





Resistência de projeto *fib* Model Code 2020

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \eta_{fc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Ainda, de acordo com *fib* Model Code;

- ✓ com $f_{ck} = 40$ MPa a 28 dias
- ✓ carga aos 91 dias
- ✓ cimento CP III

reduz
30 kg/m³
de cimento

$$f_{cd} = 1,12 * 1,00 * \frac{40}{1,5} = 29,8 \text{ MPa (viável)}$$

$$f_{cd} = 0,85 * 1,00 * \frac{40}{1,4} = 24,2 \text{ MPa (atual)}$$

Reflexões

1. Década de 60.70 → Segurança. Semi-probabilista ABNT NBR 6118:1978
2. Década de 70.80 → Controle. Qualidade. ABNT NBR 12655:1992
3. Década de 80.90 → Durabilidade. ABNT NBR 12655:2006 & 2015 e ABNT NBR 6118:2003 & 2014 & 2023
4. **Década de 2010.2020 → Sustentabilidade. ABNT NBR 6118: ???? e, ABNT NBR 12655:????**

Reflexões

Proposta de permissão de projetar para f_{ck} a 63 dias e 91 dias:

1. Hoje ABNT NBR 6118 é impositiva, obrigatória e restritiva

2. Pode passar a ser mais flexível pois essa proposta:

...é → ADITIVA e OPCIONAL

...e, não é → SUBSTITUTIVA e OBRIGATÓRIA

...estaremos abrindo mais uma porta...

...entra por ela quem tem consciência e capacidade para bem usá-la...



Muito Obrigado!



Paulo Helene
IBRACON
PhD Engenharia

