

Instituto de Engenharia IE
Departamento de Engenharia Civil
Divisão de Estruturas

IBRACON

Considerações sobre o Efeito Rüschi na Idade de Controle da Resistência do Concreto

Paulo Helene

*Diretor Presidente do IBRACON
Prof. Titular da Universidade de São Paulo
Coordenador Internacional da Rede REHABILITAR CYTED
Member fib (CEB-FIP) Model Code for Service Life*

São Paulo, 12 de abril de 2007

1

Instituto de Engenharia IE
Departamento de Engenharia Civil
Divisão de Estruturas

IBRACON

Introdução da Relaxação no Projeto das Estruturas de Concreto

Paulo Helene

*Diretor Presidente do IBRACON
Prof. Titular da Universidade de São Paulo
Coordenador Internacional da Rede REHABILITAR CYTED
Member fib (CEB-FIP) Model Code for Service Life*

São Paulo, 12 de abril de 2007

2

Bibliografia

IBRACON

1. **Bernard Fouré.** Étude Experimentale de la Résistance du Béton sous Contrainte Soutenue. Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics ITBTP, n. 435, Juin 1985. p. 2-22
2. **Hubert Rüschi.** Researches Toward a General Flexural Theory for Structural Concrete. ACI Journal, July 1960. p. 1-28
3. **Márcio Corrêa & Márcio Ramalho.** Considerações sobre a Evolução dos Esforços Solicitantes nas Estruturas de Concreto Armado para Edifícios. Brasília, Seminários Encol / SENAI, 1993.
4. **Paulo Helene.** A Resistência do Concreto sob Carga Mantida e a Idade de Estimativa da Resistência Característica. III Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto. São Paulo, Dez. 1993. p. 271-282
5. **Péricles Brasiliense Fusco.** Resistência do Concreto Comprimido. Brasília, 35o Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, v. 2, Junho 1993. p. 467-483

3



4



Systeme Hennebique

Paris, Rue Danton1

7 andares
França 1901
Altura 30 m

$f_{ck} = ?$
relaxação = ?

106 anos!!!!
Edifício mais
antigo do mundo

5



6

**Conceito de relaxação
“stress relaxation”**

~~creep?~~

7

**Conceito de relaxação
“stress relaxation”**

→ para aço

“relaxação de tensões”

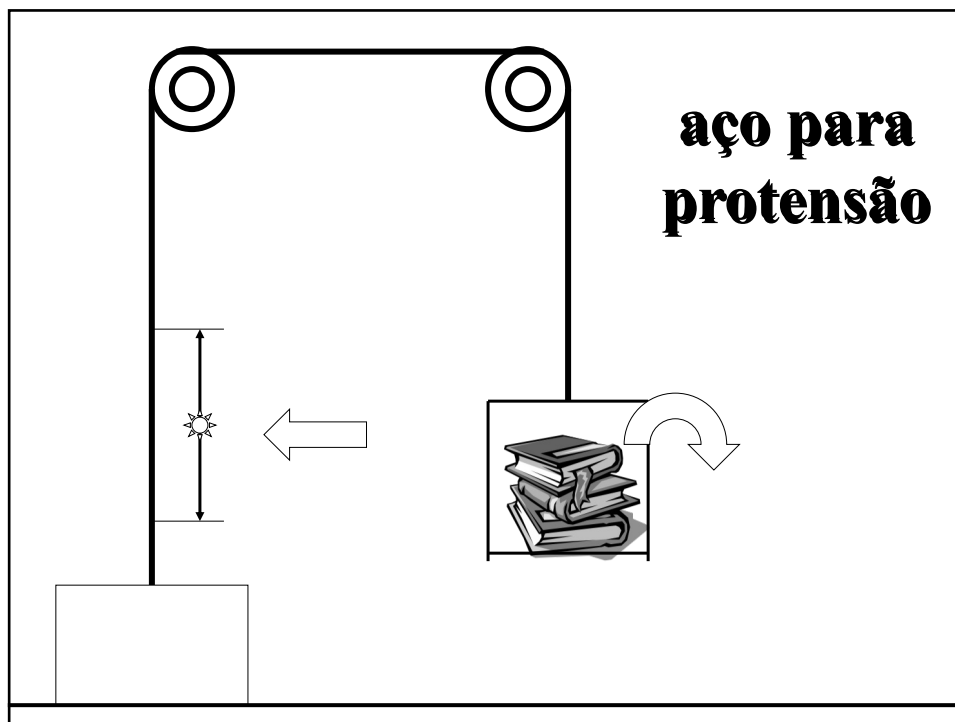
“ASTM Standard for Stress Relaxation Tests. ASTM A 328”

8

ABNT → NBR 7484. Fios, barras e cordoalhas de aço destinados a armaduras de protensão. Ensaio de relaxação isotérmica. Método de ensaio.

O ensaio de relaxação determina a perda (em porcentagem) de tensão ao longo do tempo (1.000 horas, 42 dias) com os corpos-de-prova submetidos a uma deformação constante.

9



10

**AÇO para ESTRUTURAS de CONCRETO *Protendido*
FIOS e CORDOALHAS – PERDAS por RELAXAÇÃO**

1.000 h 42dias

designação	relaxação máxima para tensão inicial igual a	
	70% do limite de resistência mínimo especificado	80%
fio RN	5,0%	8,5%
fio RB	2,0%	3,0%
cordoalha RN	7,0%	12,0%
cordoalha RB	2,5%	3,5%

11

?
Como decrescem as
tensões
do aço com o tempo ?

12

**AÇO para ESTRUTURAS de CONCRETO *Protendido*
FIOS e CORDOALHAS – RELAXAÇÃO**

Tensão inicial	ρ_{σ}	Classe de relaxação	
		Relaxação normal	Relaxação baixa
$\sigma_{pi} = 0,60 f_{ptk}$	ρ_{60}	4,5 %	1,5 %
$\sigma_{pi} = 0,70 f_{ptk}$	ρ_{70}	7,0 %	2,5 %
$\sigma_{pi} = 0,80 f_{ptk}$	ρ_{80}	12,0 %	3,5 %

13

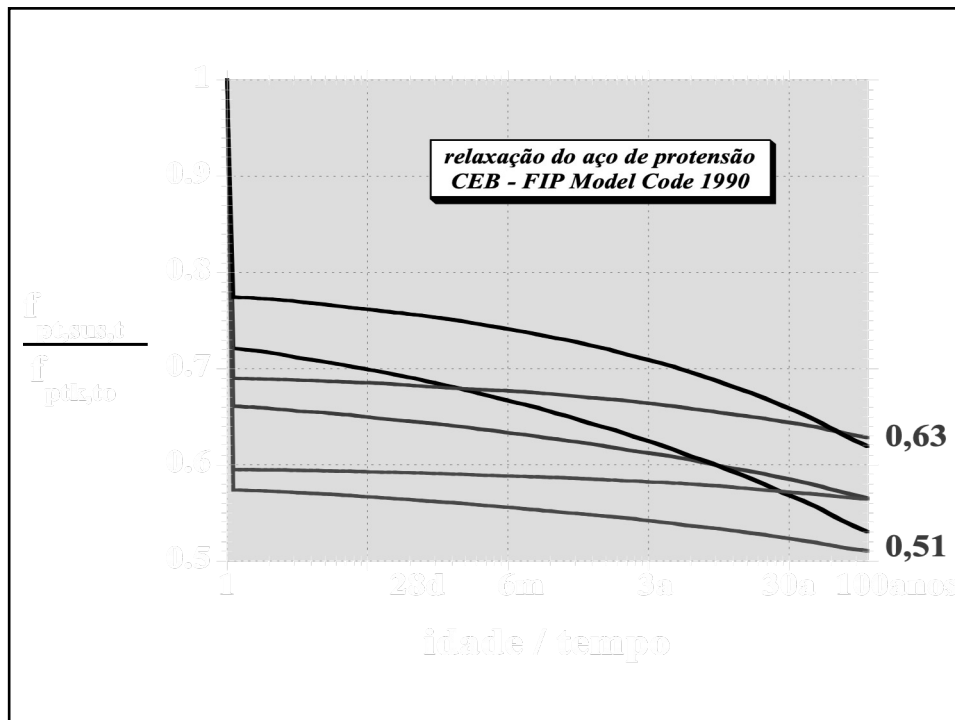
Relaxação das Tensões
(efeito Rüsç para o aço de protensão)

CEB – FIP Model Code 1990
Bulletin d'information 213/214, May 93

$$\frac{\sigma_{pt,sus,t}}{f_{ptk,t_0}} = \frac{\sigma_{pi}}{f_{ptk}} - \rho_{1000} * \left(\frac{t - t_0}{1000} \right)^{0.19}$$

→ t em horas

14



15

Relaxação de tensões

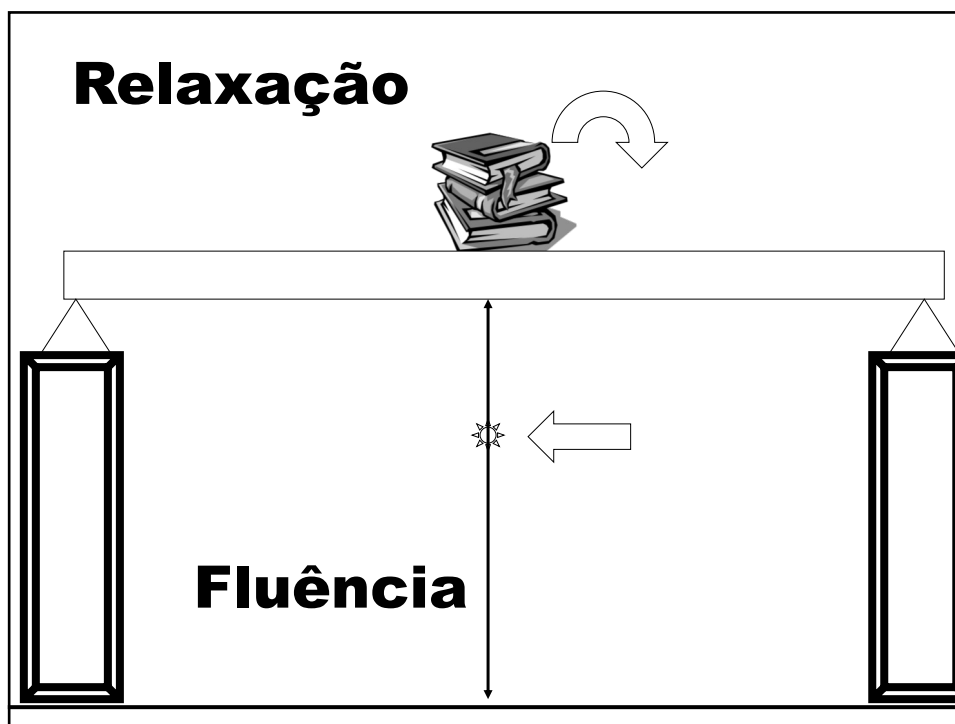
1. Regime “elástico”, não é ruptura;
2. Intensidade da carga $\rightarrow 0,5 f_{ptk}$ já causa relaxação;
3. Relaxa para deformação constante
4. Aplica-se ao E.L.S. e não ao E.L.U.

16

Conceito de relaxação “strength relaxation” → para concreto

“relaxação de resistência”

17



18



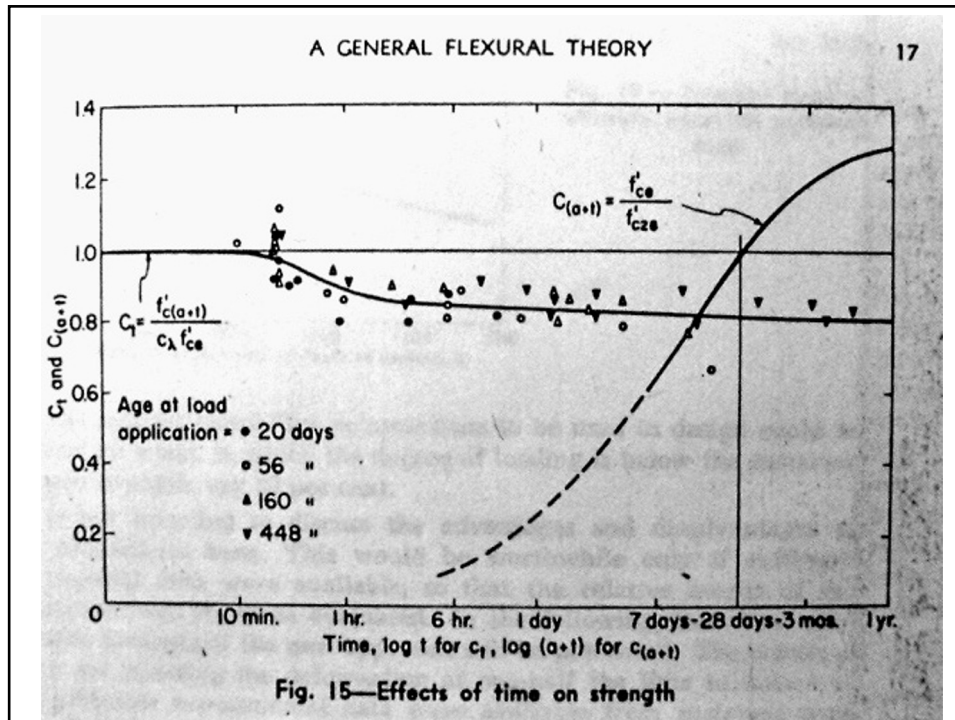
19

Hubert Rüsch, 1960

1^a constatação:
→ relaxação =, qq → f_{ck}

2^a constatação:
→ relaxação =, qq → t_c

20



21

Hubert Rüsch, 1960

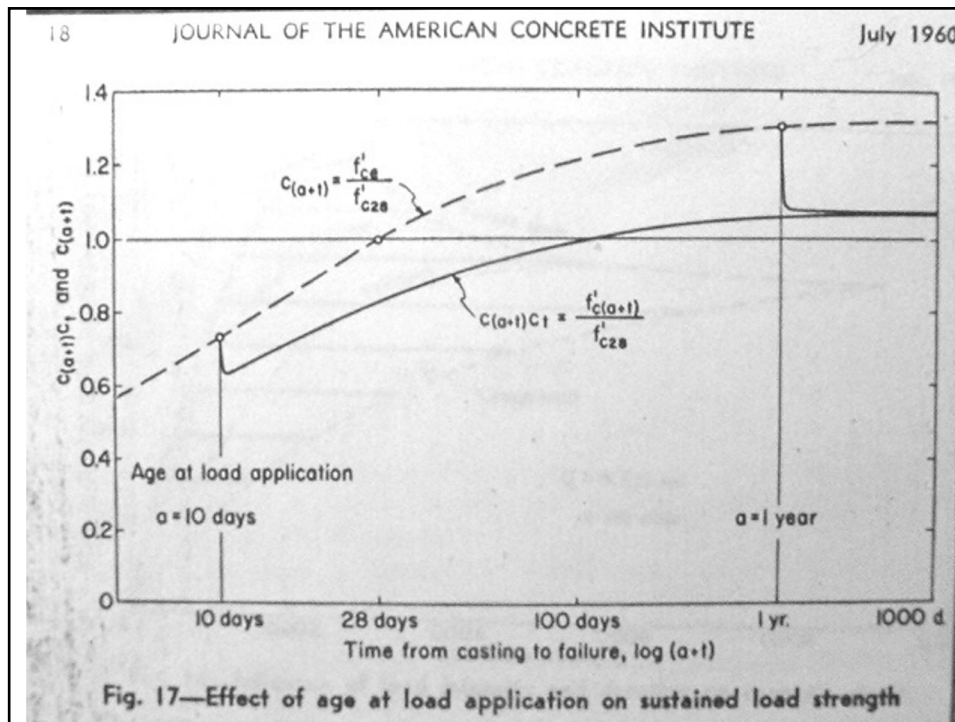
3ª constatação:

→ relaxação máx. = $0,75 * f_{c,t_0}$

4ª constatação:

→ relaxação =, qq → f_{c,t_0}

22



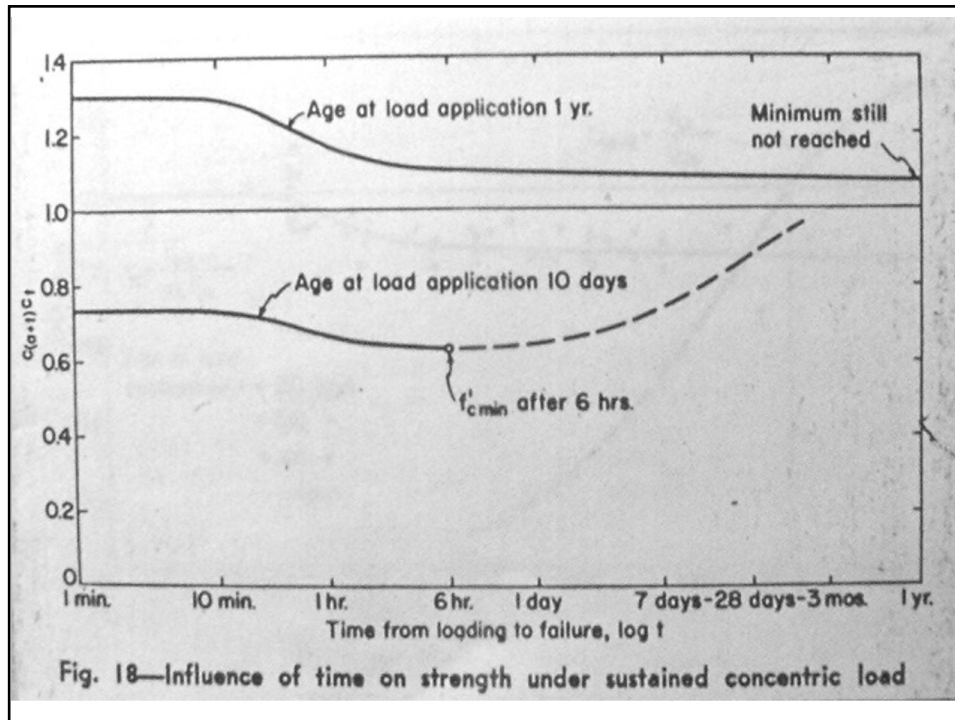
23

Hubert Rüsch, 1960

5ª constatação:

→ resistência mínima do concreto depende da data de f_{ck} , da data f_{c,t_0} e do crescimento de f_c a partir de f_{ck}

24



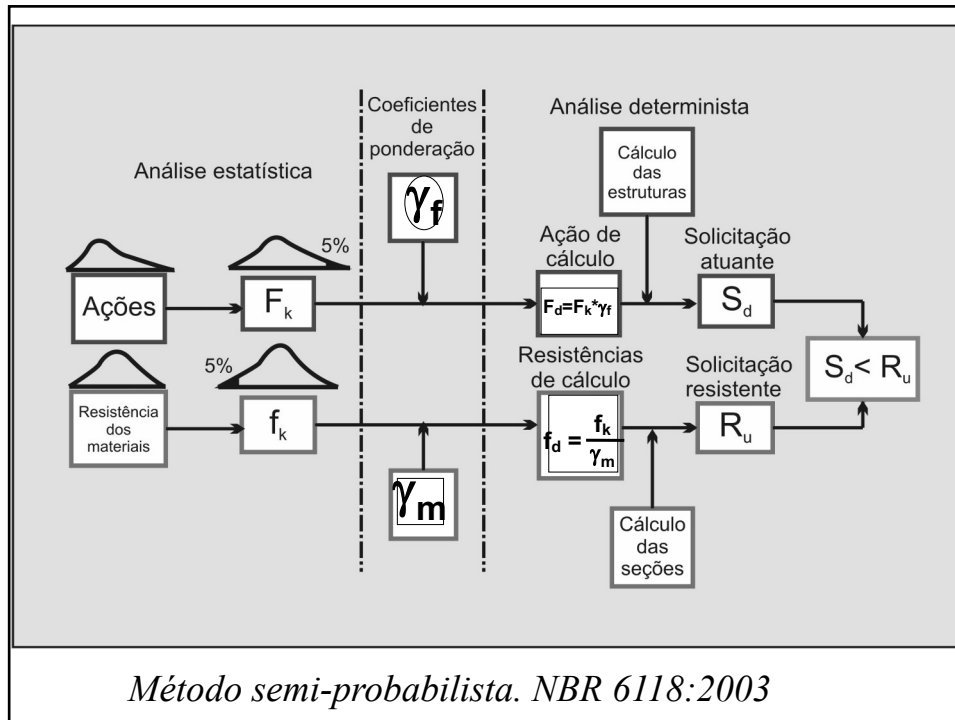
25

NBR 8681

Ações e Segurança

*introdução da segurança
no projeto estrutural*

26



27

NBR 8681 Ações e Segurança

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad \gamma_c = 1,4$$

$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * \beta = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * 0,85$$

para $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ → $f_{c,ef}$ (estrutura) $\approx 15,2 \text{ MPa}$
 para $f_{ck} = 50 \text{ MPa}$ → $f_{c,ef}$ (estrutura) $\approx 30,3 \text{ MPa}$

28

CEB – FIP Model Code 1990

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad \gamma_c = 1,5$$
$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * \beta$$

para $f_{ck} = 25 \text{ MPa} \rightarrow f_{c,ef} \text{ (estrutura)} \approx \beta * 16,7 \text{ MPa}$
para $f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow f_{c,ef} \text{ (estrutura)} \approx \beta * 33,3 \text{ MPa}$

29

$$\gamma_c = \gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2} \cdot \gamma_{c3}$$

(1,20) $\gamma_{c1} \rightarrow s_{c,ef} \text{ da estrutura} \geq s_c$

(1,08) $\gamma_{c2} \rightarrow f_{c,ef} \text{ (est.)} \neq f_c \text{ (c.p.)}$

(1,16) $\gamma_{c3} \rightarrow \text{dúvidas sobre R}$

30

NBR 6118 NBR 8681

$$0,85? \approx \beta_{1,t} * \beta_{2,t}$$

$\beta_{1,t} = 1,20 \rightarrow$ crescimento f_{ck} após t_0 até t_{infinito} (100 anos)

$\beta_{2,t} = 0,71 \rightarrow$ decréscimo de f_{ck} devido às cargas de longa duração, aplicadas na idade t_0 até t_{infinito} (100 anos)

t_0 = idade de aplicação da carga de longa duração

(cargas permanentes + parte das acidentais)

31

?

Como cresce e como

decrece a

RESISTÊNCIA

com o tempo ?

32

?

Como cresce a
RESISTÊNCIA
com o tempo ?

33

Crescimento da Resistência

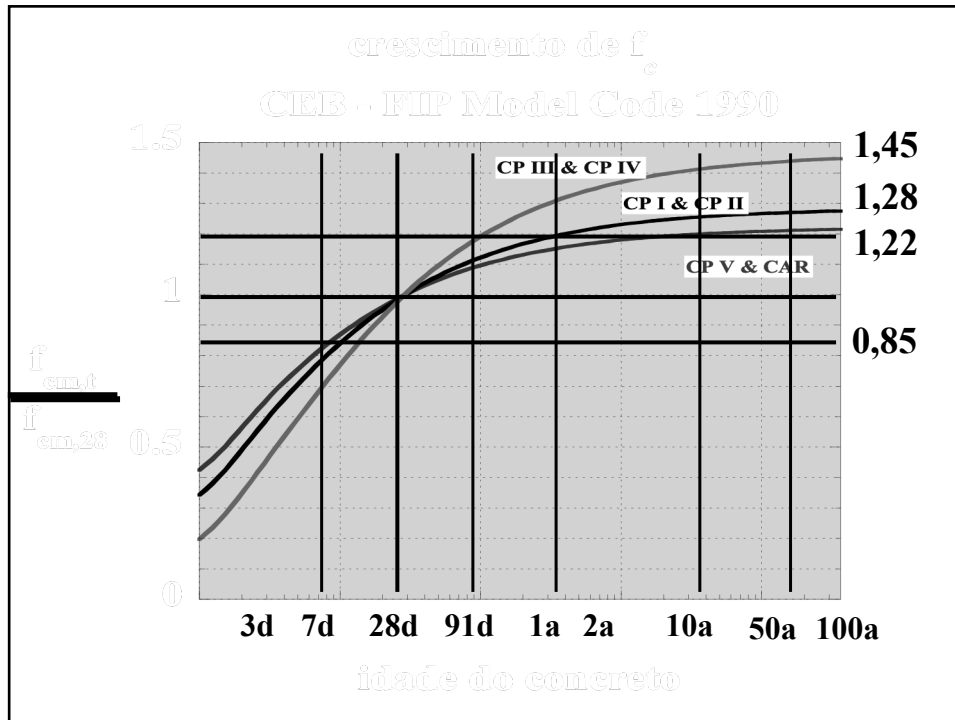
CEB – FIP Model Code 1990

Bulletin d'information 213/214, May 93

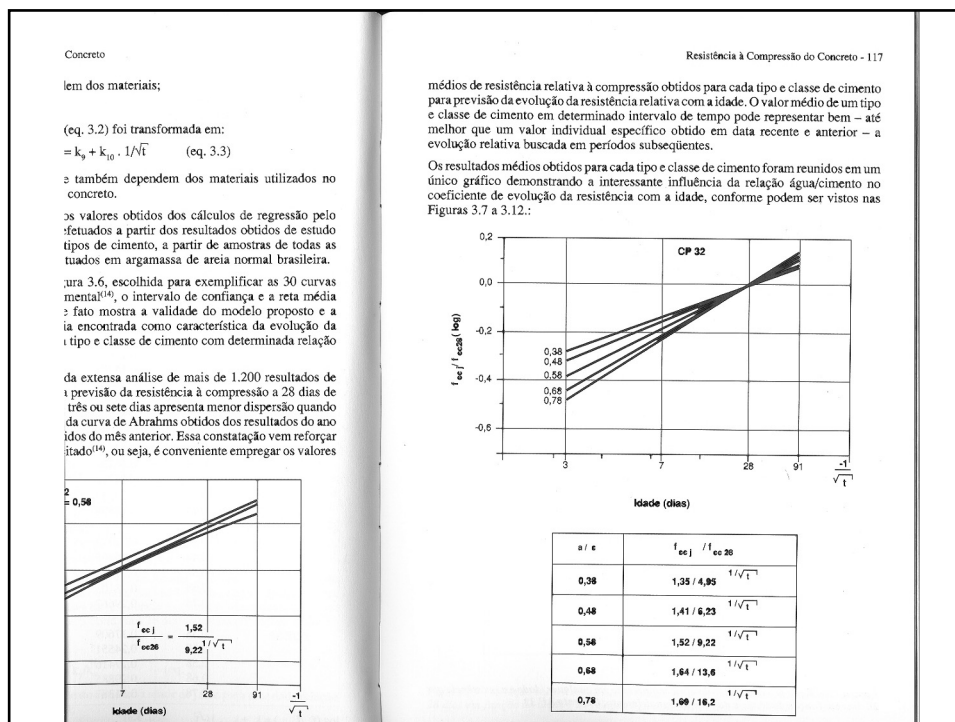
$$\frac{f_{cm,t}}{f_{cm,28}} = e^{s * (1 - \sqrt{\frac{28}{t}})}$$

CPV ARI	→ s	= 0,2	→ 1,22	100anos
CP I / II	→ s	= 0,25	→ 1,28	100anos
CP III / IV	→ s	= 0,38	→ 1,45	100anos

34



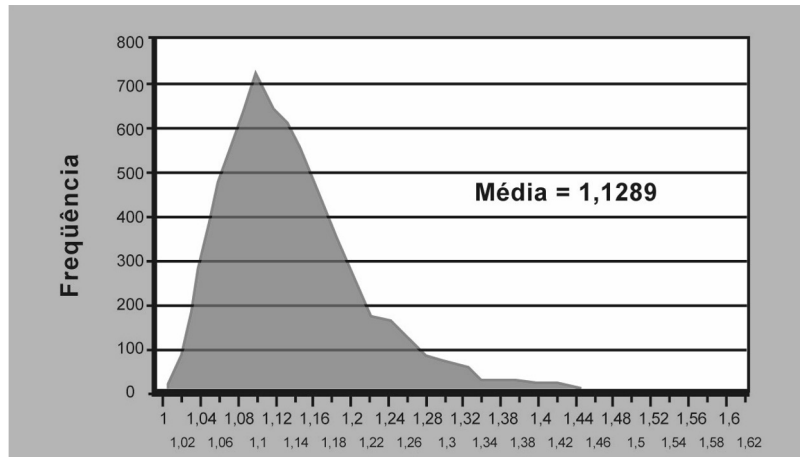
35



36

Análise Geral

8.429 Registros Analisados, todos os cimentos

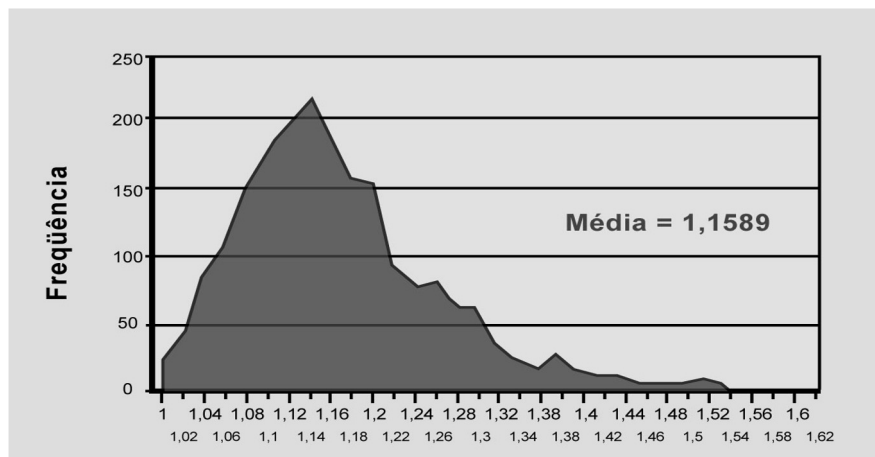


$$\frac{f_{cm,63}}{f_{cm,28}}$$

37

Análise

2.046 Registros Analisados, CP III

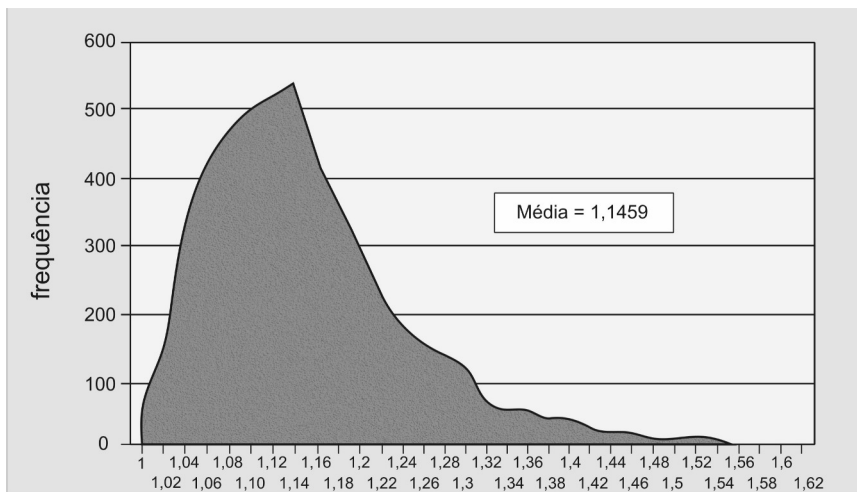


$$\frac{f_{cm,63}}{f_{cm,28}}$$

38

Análise

5.323 Registros Analisados, CP II E

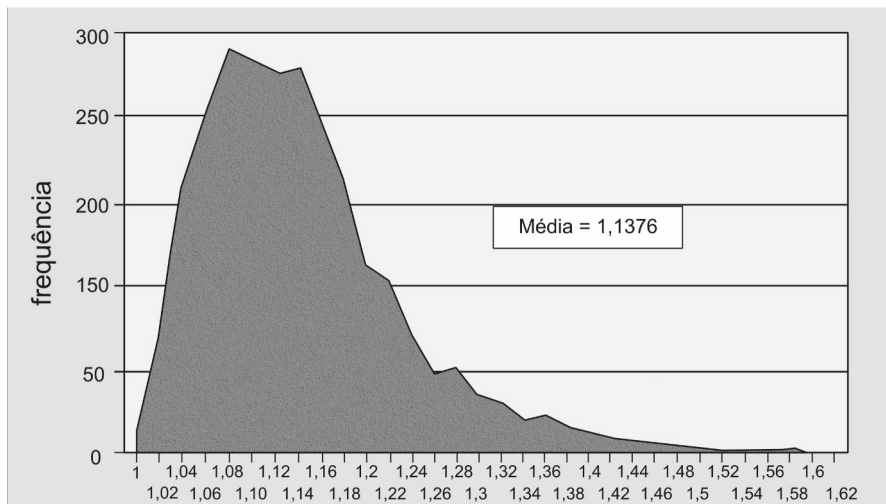


$$\frac{f_{cm,63}}{f_{cm,28}}$$

39

Análise

2.304 Registros Analisados, CP II Z

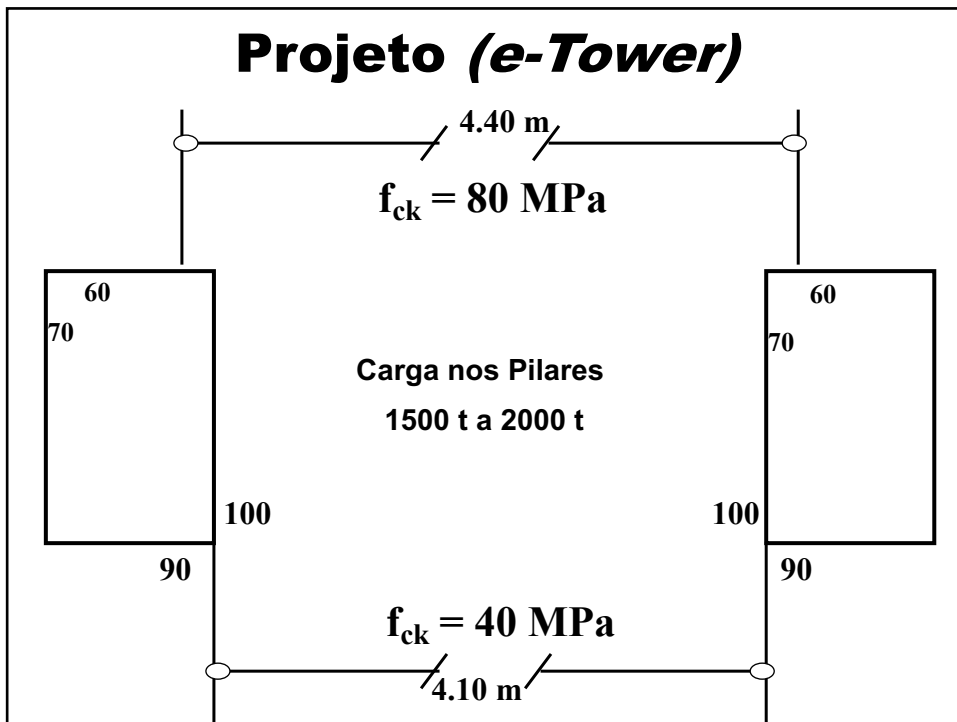


$$\frac{f_{cm,63}}{f_{cm,28}}$$

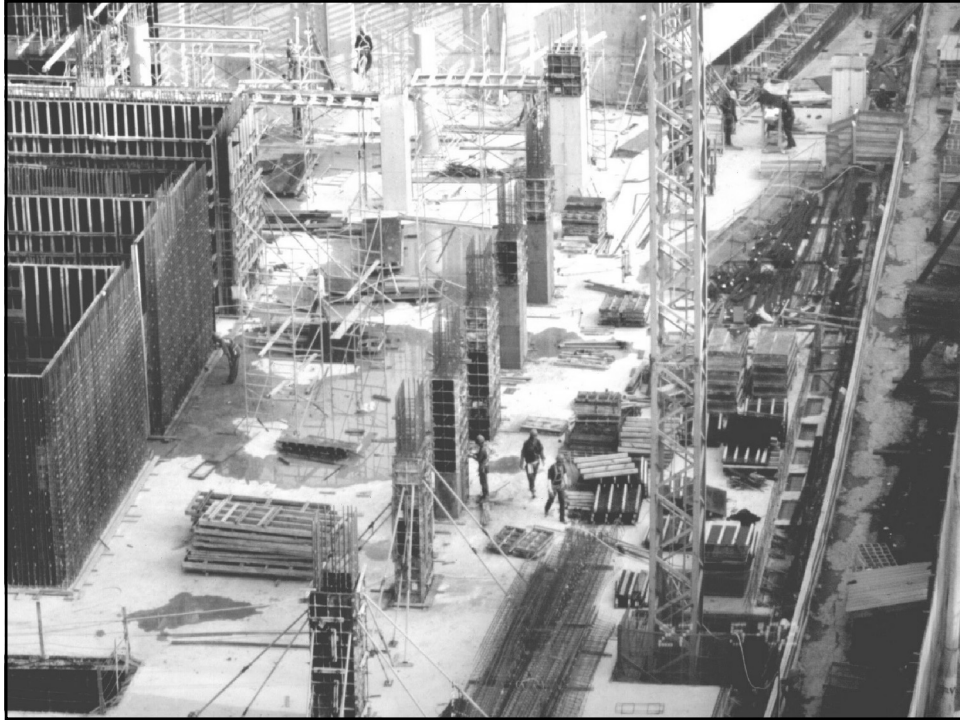
40



41



42



43

Pilares de concreto de alto desempenho



44

materiais	teor	quantidade	obs
CPV ARI Plus RS	1,00	460 kg/m ³	460 cim. + 163 escória
adição	0,15	93 kg/m ³	silica & metacaulim
Agregado graúdo	1,65	1.027 kg/m ³	basalto, 19mm, MF 6,9, 3.020 kg/m ³
agregado miúdo	0,88	550 kg/m ³	quartzo, 2,4mm, MF 2,0, 2.670 kg/m ³
pigmento	0,04	25 kg/m ³	óxido de ferro
superplastificante	0,01	6,2 kg/m ³	policarboxilato
retardador	0,0058	3,6 kg/m ³	acido hydrocarboxálico
água	0,19	135 kg/m ³	W / Cm = 0,19

45



46



47

Resistencia a Compressão

Lote	Local	f _{ck} (MPa)	exemplar	Média	Desvio padrão	Coef. Variação	f _{ck} est
1	4º SS	80	4	142,6	7,0	5%	133
2	3º SS	80	4	127,0	5,0	4%	122
3	2º SS	80	4	124,6	7,5	6%	119
4	1º SS	80	4	126,6	5,5	5%	120
5	Térreo	80	8	128,4	7,5	6%	123
6	1º pavimento	80	7	127,4	7,9	6%	110
7	2º pavimento	80	4	125,4	7,1	6%	118
Desvio padrão y coef. de variação media ponderado					7,0	5,5	112

48

Cliente: Construtora Tecnum
Obra: Edifício ETower – São Paulo - SP
A/C Prof. Dr. Paulo Helene

Determinação da resistência à compressão –NBR-5739/94

RESULTADOS

C. P. nº	Data da concretagem	Resistência à compressão (MPa)
33	24/05/2.002	149,9
35		151,8

Data do ensaio : 18/10/05.

3a 4m 18d

São Paulo, 18 de outubro de 2.005

DIVISÃO DE ENGENHARIA CIVIL
Agrupamento de Materiais
de Construção Civil
Laboratório de Concreto

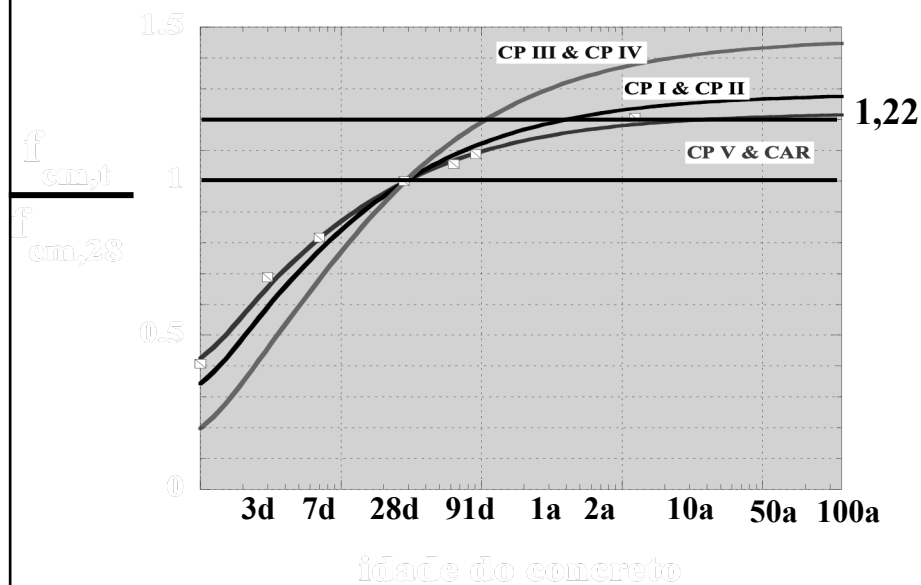
1233 dias

DOCUMENTO EMITIDO ELETRONICAMENTE, DISPENSA ASSINATURA

Técnico em Edificações Pedro Carlos Bilesky
Encarregado do Laboratório de Concreto
RE. nº 4376.0

49

concreto de altíssima resistência, a/c = 0,19



50

$\beta_{1,t}$ = crescimento f_{ck} após t_0

$$\beta_{1,t} = \frac{f_{cm,t_\infty}}{f_{cm,t}}$$

	28d
Rüsch (1960)	1,30
· POZ & AF	1,45
CEB(1990)	1,28
· normal	1,28
· ARI + CAR	1,22
NBR 6118:2003	1,20

51

?
Como decresce a
RESISTÊNCIA
com o tempo ?

52

Relaxação das Resistências (efeito Rüsçh)

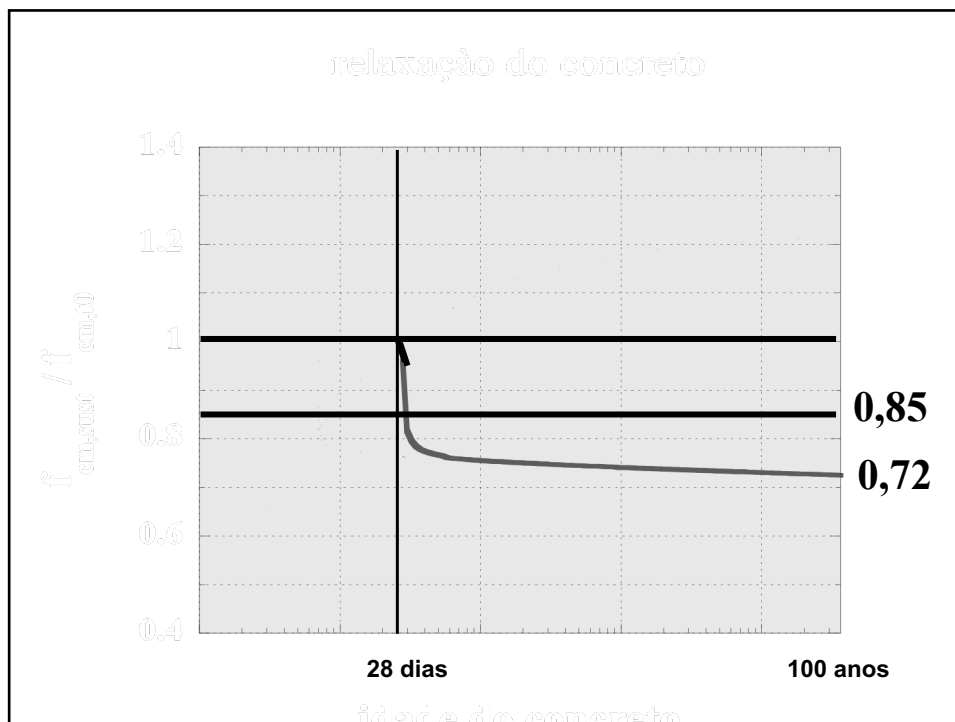
CEB – FIP Model Code 1990
Bulletin d'information 213/214, May 93

$$\frac{f_{cm,sus,t}}{f_{cm,t_0}} = 0,96 - 0,12 * \sqrt[4]{\ln\{72 * (t - t_0)\}}$$

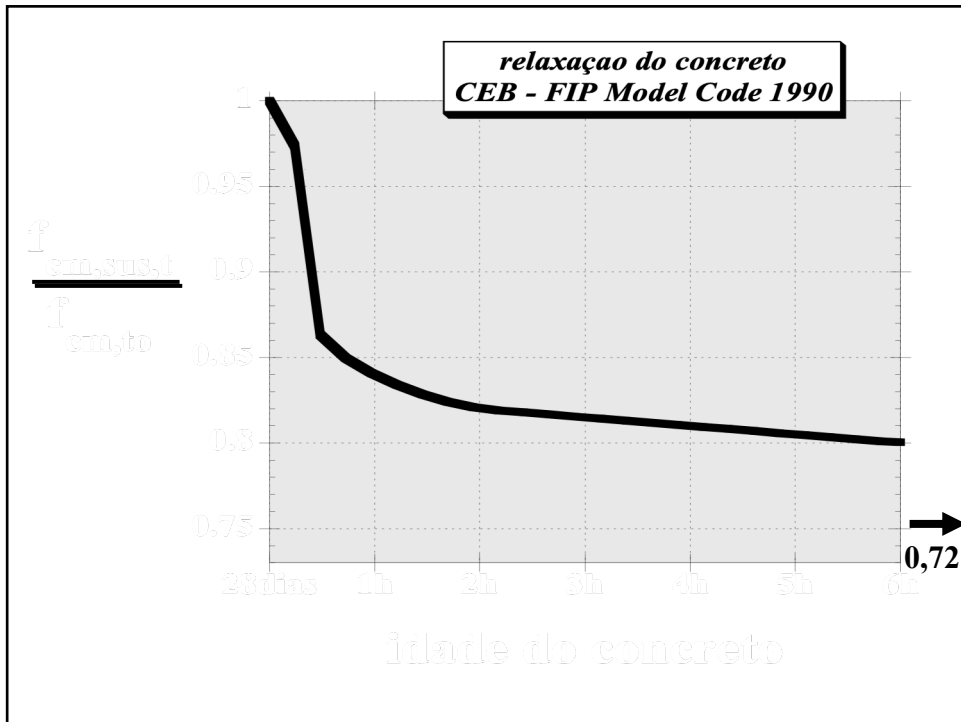
→ t em dias

→ sob tensões elevadas??

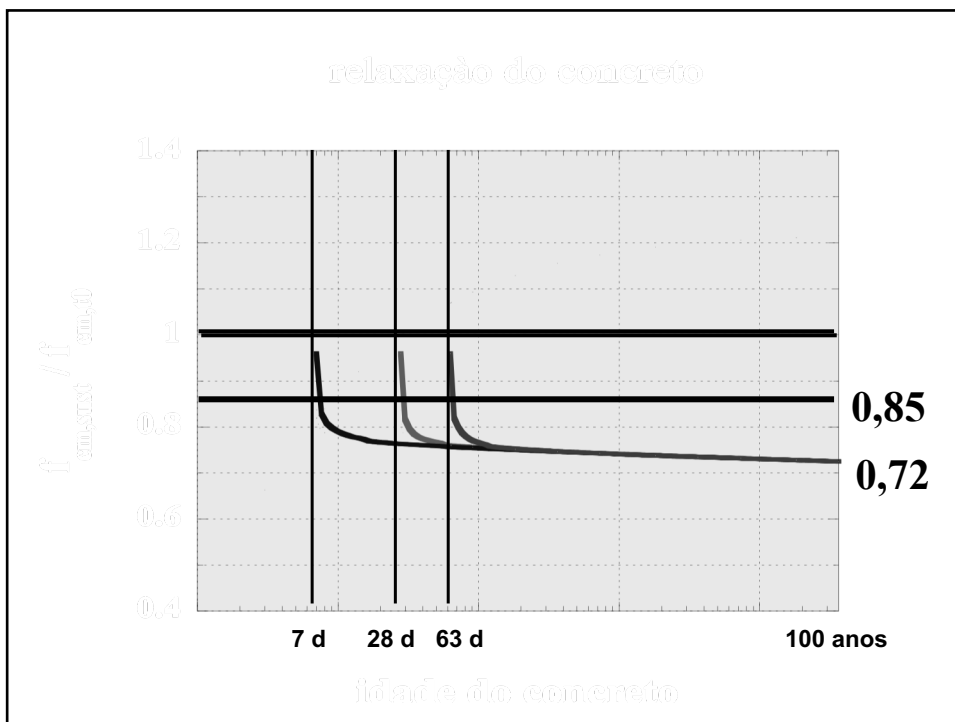
53



54



55



56

$\beta_{2,t}$ = decréscimo de f_c devido às cargas de longa duração, aplicadas na idade $t_0 = qq$

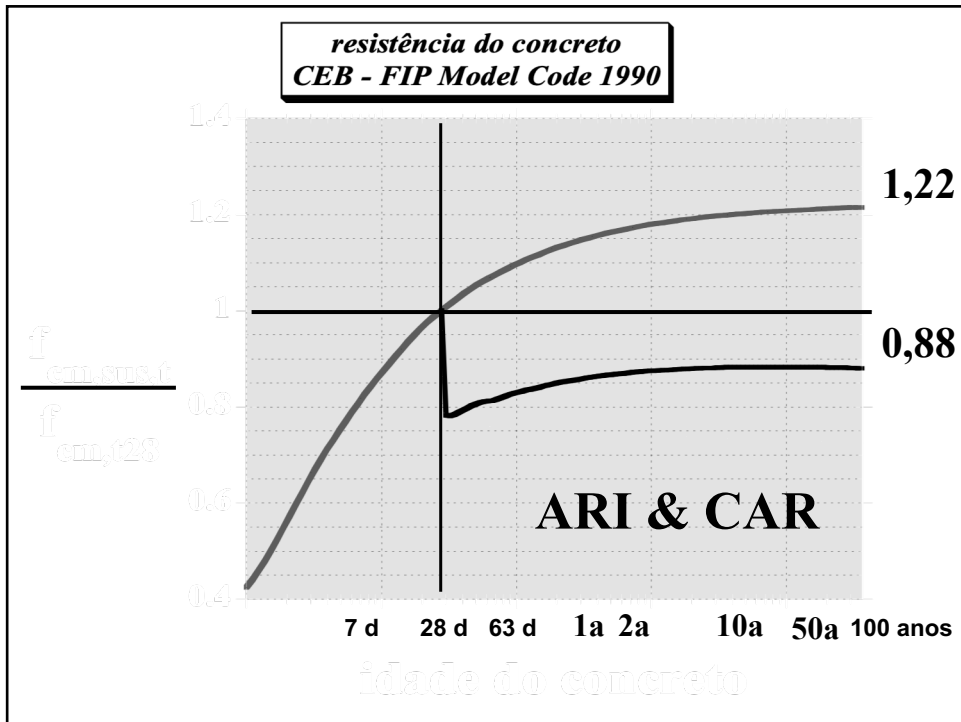
$$\beta_{2,t} = \frac{f_{cm,sus,t_\infty}}{f_{cm,t_0}}$$

	t_{infinito}
Rüsch (1960)	0,75
CEB 90	0,72
NBR 6118:2003	0,71

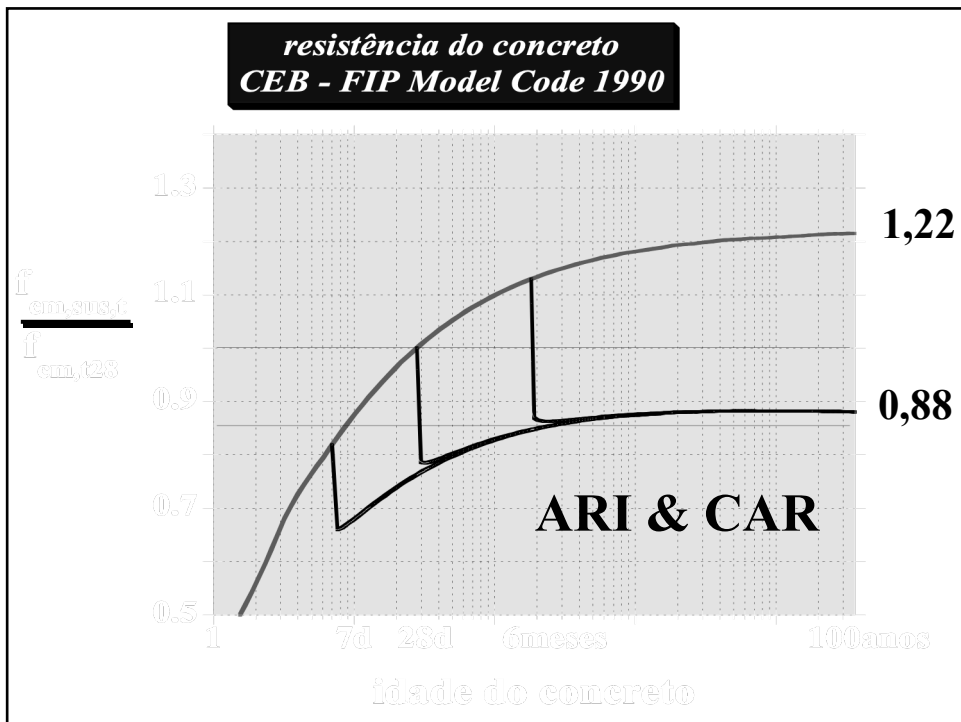
57

Como fica a
RESISTÊNCIA
do concreto no
tempo?

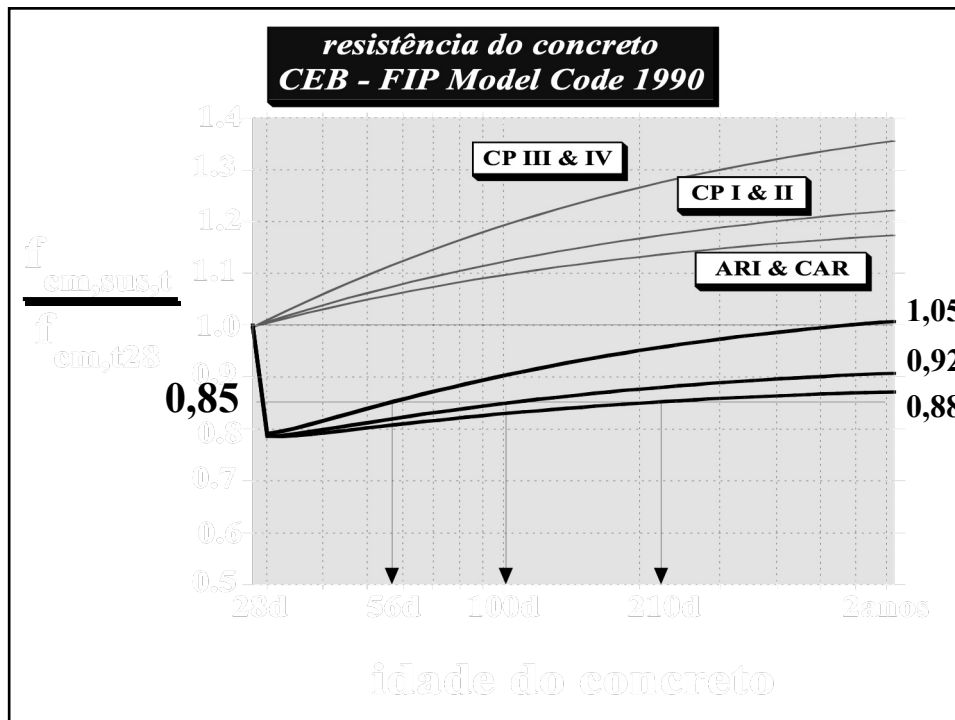
58



59



60



61

resistência final do concreto a 100 anos de idade
para cargas de longa duração aplicadas aos 7d,
28d, 1ano ou qq idade

	crece	decrece	resulta
Rüsch	1,30	0,75	0,98
CP III & IV	1,45	0,73	1,05
CEB 90	1,28	0,73	0,92
CP V & CAR	1,22	0,73	0,88
NBR 6118	1,20	0,71	0,85

62

Δt após carga	7d	28d	63d	f_{ck} a 28 dias
20 min	0,79	0,96	1,03	
0,5 h	0,71	0,86	0,92	
1 h	0,69	0,84	0,89	
10h	0,66	0,80	0,85	
1 dia	0,66	0,79	0,84	
1 mês	0,76	0,81	0,83	
3 meses	0,82	0,83	0,84	
6 meses	0,85	0,85	0,85	
1 ano	0,86	0,86	0,86	
100 a	0,88	0,88	0,88	

63

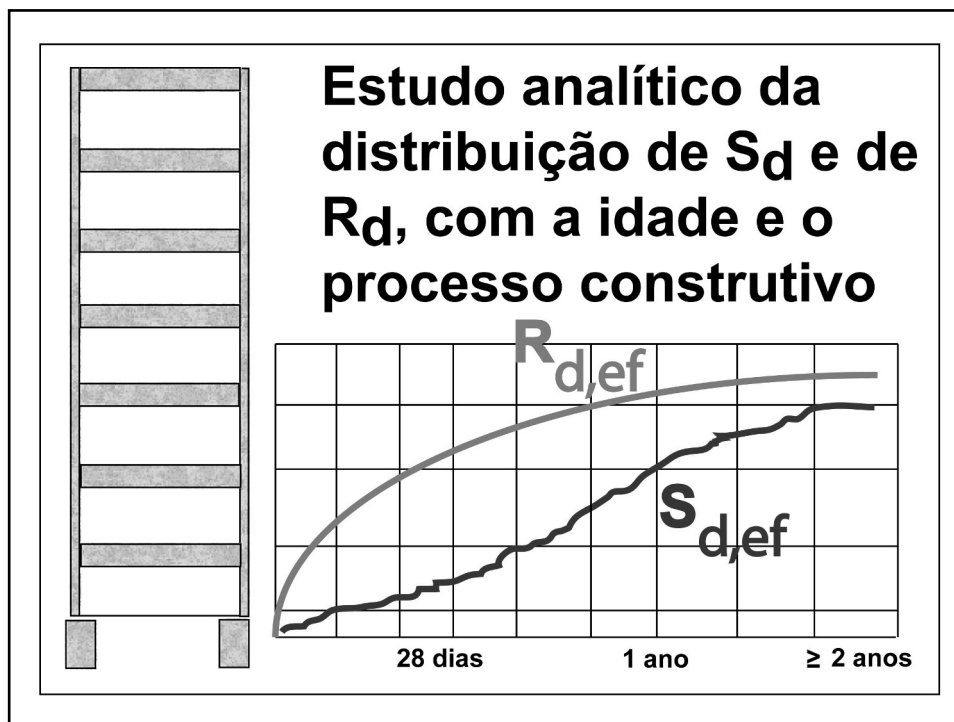
Discussões & Dúvidas

64

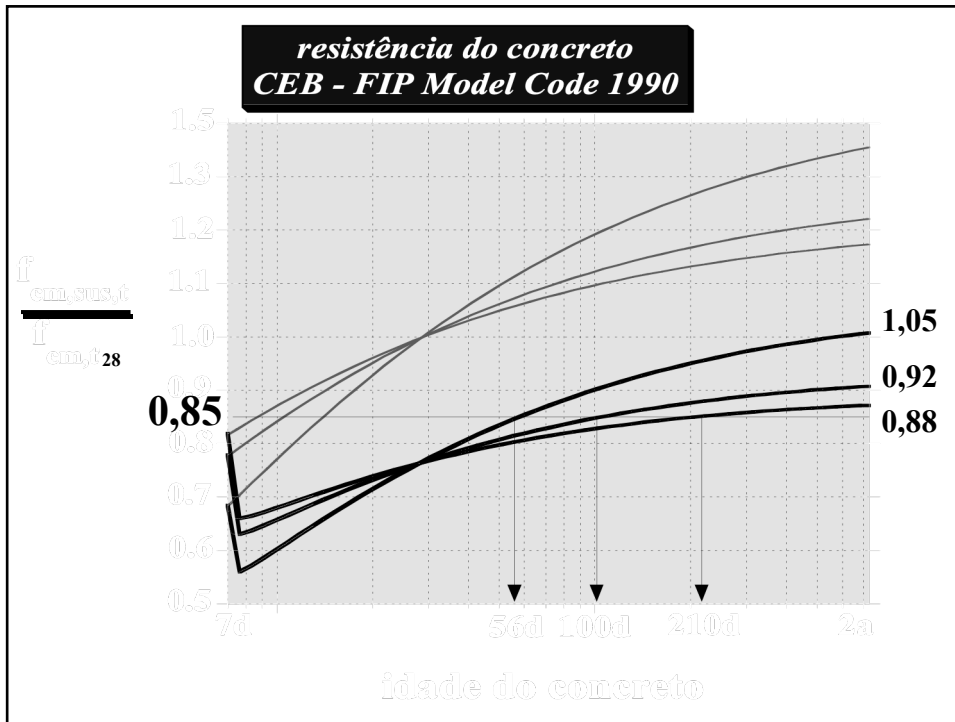
Quando efetivamente os elementos estruturais são carregados?

- lajes e vigas → 7 dias?
- pilares e fundações → 6 meses?

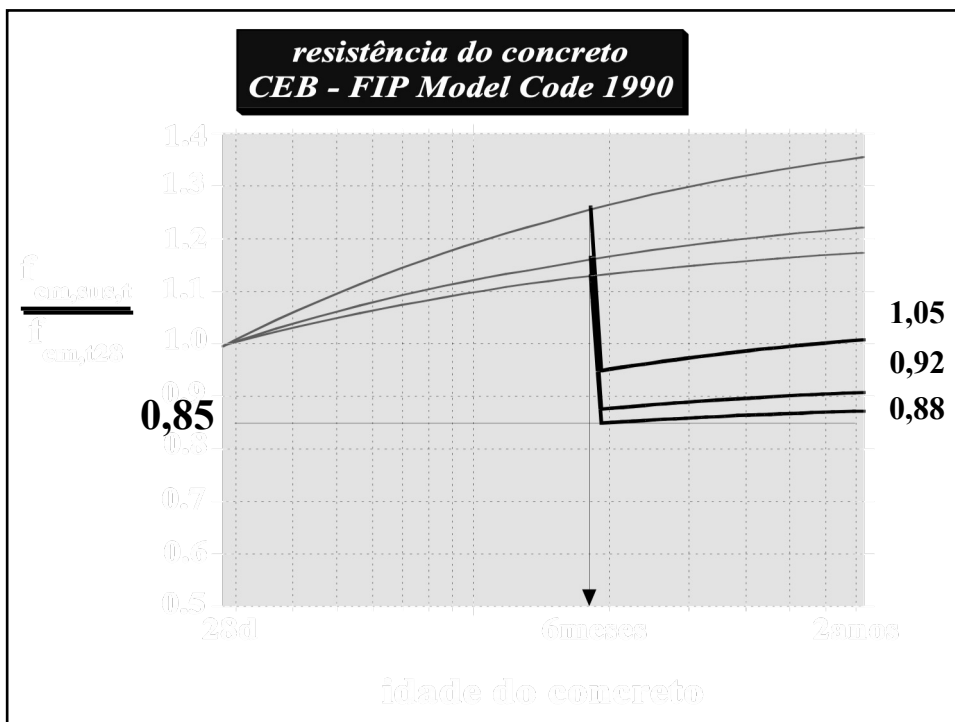
65



66



67



68

Considerando que o E.L.S.
recomenda manter as tensões de
serviço dos elementos estruturais

$$\sigma_c = 0,4 \cdot f_c$$

será que faz sentido considerar
risco de relaxação das
resistências?

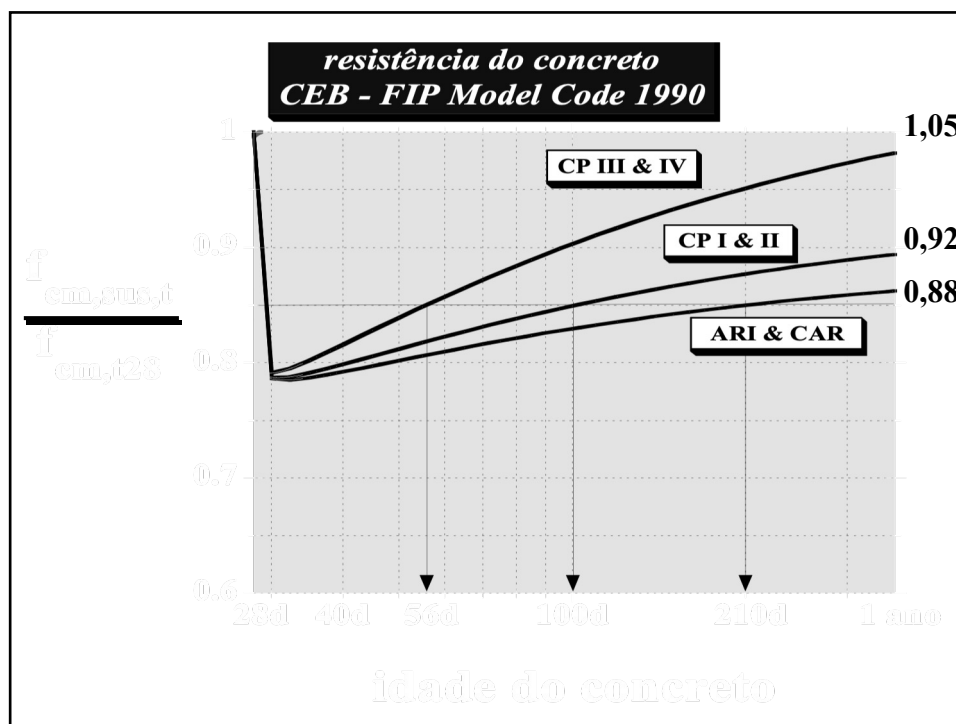
69

É razoável considerar que
haverá relaxação de
resistências somente quando
a carga atuante superar 70%
de f_{ck} , ou de f_{cd} ?

70

Uma vez que o β é variável e depende da idade de carga e do concreto, faz sentido usar o coeficiente fixo $\beta = 0,85$?

71



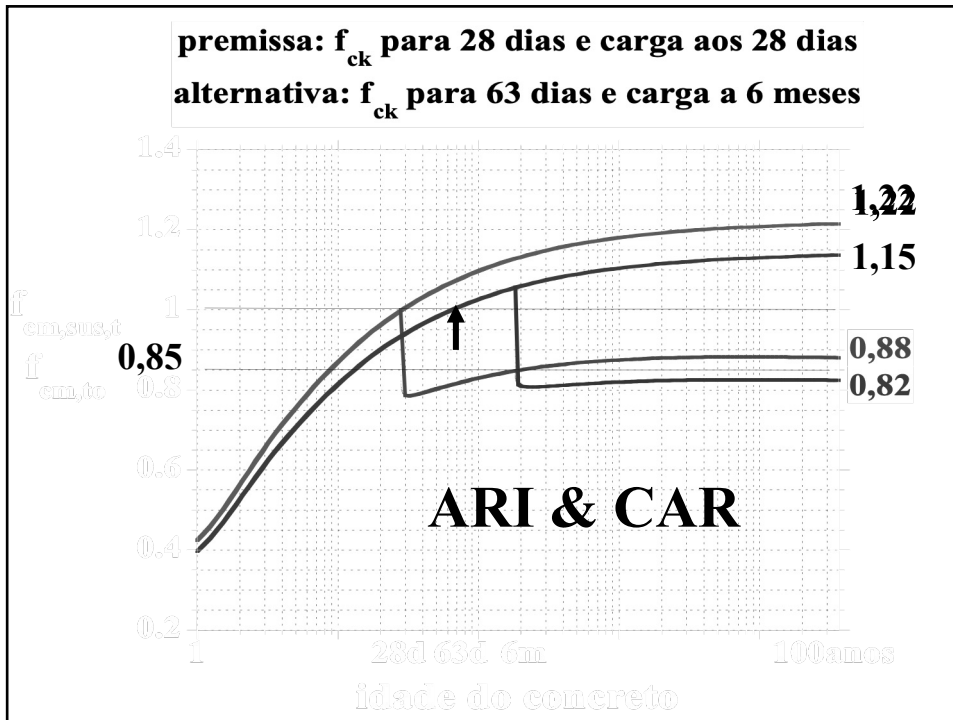
72

carregamento	idade	β mínimo	concreto
7dias	7d + 13h	0,660	ARI & CAR
7dias	7d + 11h	0,630	CP I & CP II
7dias	7d + 8h	0,557	CP III & CP IV
28dias	28d + 3d + 12h	0,785	ARI & CAR
28dias	28d + 2d + 20h	0,787	CP I & CP II
28dias	28d + 1d + 21h	0,791	CP III & CP IV
6meses	6m + 1h	0,847	ARI & CAR
6meses	6m + 1h	0,873	CP I & CP II
6meses	6m + 1h	0,945	CP III & CP IV

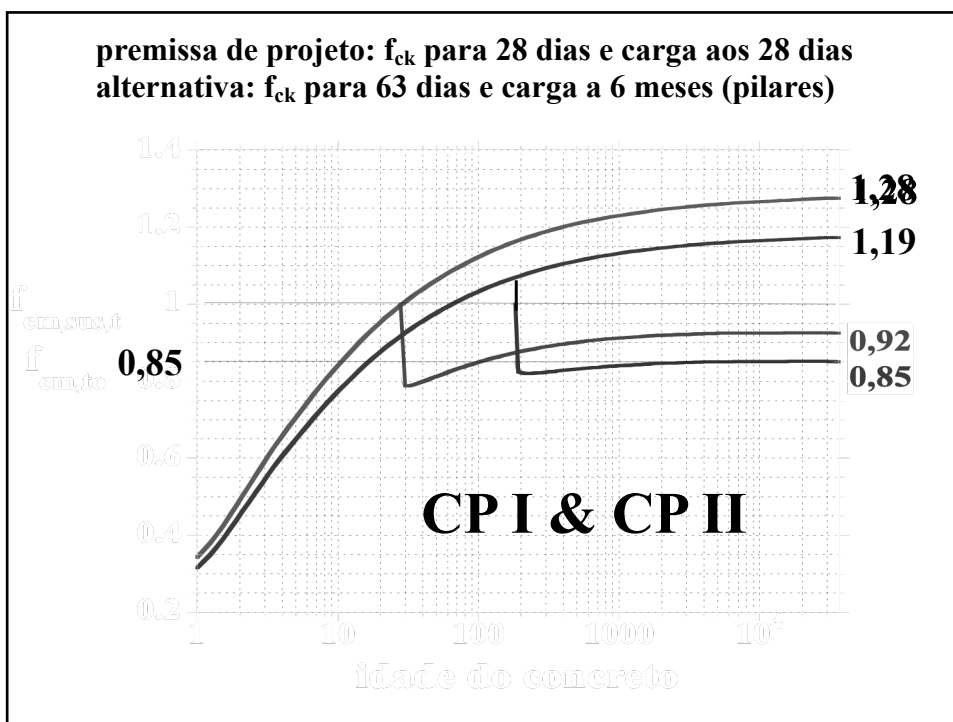
73

O concreto não atendeu o f_{ck} de 28dias mas com 63 dias o testemunho atendeu. Alterou a segurança?

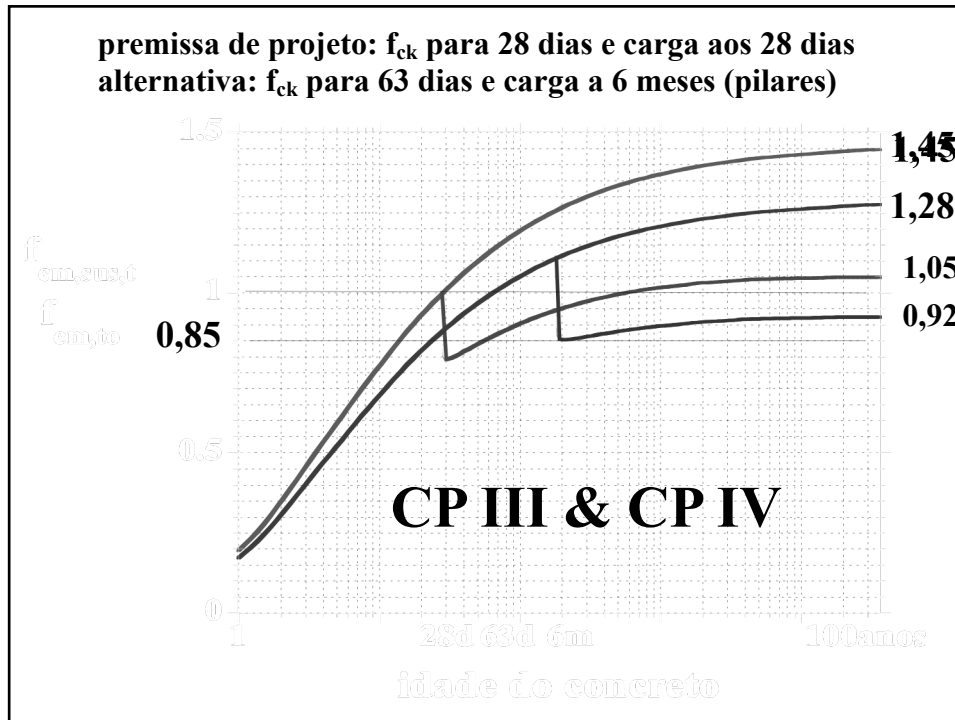
74



75



76



77

Em lugar de

$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * 0,85$$

78

$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * \beta_t * \beta_{ci}$$

$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * \beta_t * \beta_{ci}$$

- β_t → idade da carga elevada
- β_{ci} → tipo de cimento e a / c

79

Certezas e Dúvidas

β é muito variável: 0,5 a 1,05 (0,85?)

- depende da a/c, do tipo de cimento e da idade de aplicação da carga
- poderia existir um ensaio de 6h e depois aplicaria um modelo matemático, similar ao aço de protensão

80

Certezas e Dúvidas

- deveria diferenciar lajes (e vigas?) de pilares e existir pelo menos dois **0,85**?
- testemunhos extraídos a elevadas idades (mais de 6h, 6 meses, 10anos) já incluem relaxação? No redimensionamento poderia dispensar o tal **0,85**?

81

Certezas e Dúvidas

- para rejeição de concreto precisa considerar a data de aplicação da carga elevada? Quanto? Acima de 70% da de projeto???....
- para edifícios acima de 10 pisos, com taxa de elevação de 1 piso/semana, há vantagem em controlar f_{ck} a 63 dias, sem nenhum prejuízo à segurança, (*CP I, CP II, CP III, CP IV*)

82



83