



## Carga de Longa Duração nas Estruturas de Concreto ou Efeito Rüsç



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

**André Cintra, Jéssika Pacheco & Paulo Helene**

*Diretor PhD Engenharia  
Presidente de Honor ALCONPAT  
Prof. Titular Universidade de São Paulo USP  
Member fib(CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures  
Diretor e Conselheiro Permanente Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON*

Instituto de Engenharia

11 de Setembro de 2014

São Paulo

1



## Normalização Brasileira

- ABNT NBR 6118:2014** - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;
- ABNT NBR 6120:1980** – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;
- ABNT NR 6122:2010** – Projeto e execução de fundações;
- ABNT NBR 6123:1988** – Forças devidas ao vento em edificações;
- ABNT NBR 7188:1984** – Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre;
- ABNT NBR 8681:2004** – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento
- ABNT NBR 9062:2006** – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado;
- ABNT NBR 15200:2012** – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio;
- ABNT NBR 15421:2006** – Projeto de estruturas resistentes a sismos – Procedimento;
- ABNT NBR 15575:2013** – Edificações habitacionais – Desempenho;

*PhD Engenharia*

2

# Normalização Internacional

**ACI-318-11** – Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary;

**EN 1991 EUROCODE 1** – Actions on structures:

- Part 1-1: General actions – Densities, self-weight and imposed loads;
- Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire;
- Part 1-3: General actions – Snow loads;
- Part 1-4: General actions – Wind actions;
- Part 1-5: General actions – Thermal actions;
- Part 1-6: General actions – Actions during execution;
- Part 1-7: General actions – Accidental actions;



**EN 1992 EUROCODE 2** – Design of concrete structures:

- Part 1-1: General – Common rules for building and civil engineering structures;
- Part 1-2: General – Structural fire design;
- Part 2: Bridges;
- Part 3: Liquid retaining and containment structures;



**fib** Model Code for Concrete Structures 2010;



**Bulletin fib n.º 63** – Design of precast concrete structures against accidental loads;

**Bulletin fib n.º 61** – Design examples for strut-and-tie models;

**Bulletin CEB n.º 223** – Ultimate limit state design models;



**ISO 22111:2007** – Basis for Design of Structures. General Requirements.

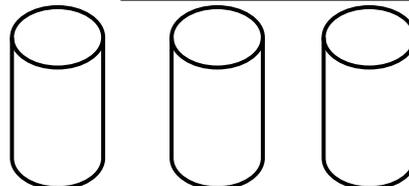
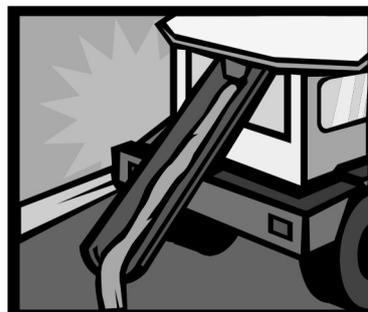
PhD Engenharia

3

## Carga mantida → como comprovar ?

Concreto de uma betonada:  
**ABNT NBR 12655:2006 (em Revisão!)**  
**ABNT NBR 5738:2003 Emenda1:2008**

**Moldagem de corpos-de-prova  
cilíndricos irmãos caprichados**



PhD Engenharia

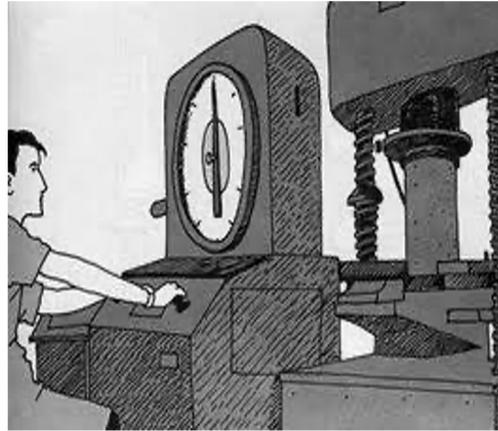
4

## ***Carga mantida → como comprovar ?***

**1 ou 2 CP levados à  
ruptura (ABNT NBR  
5739:2007)**

**Por exemplo → carga de  
ruptura:**

$$f_c = 30 \text{ tf}$$

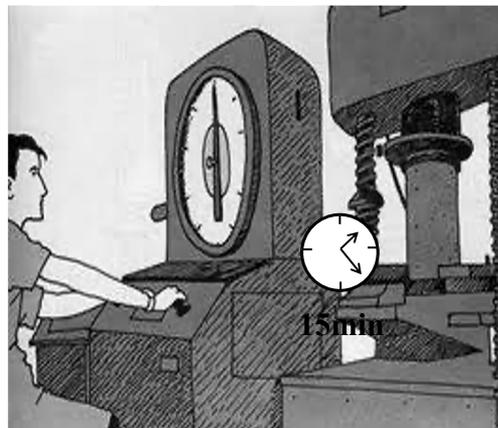


**PhD Engenharia**

5

## ***Carga mantida → como comprovar ?***

**Sobre o CP irmão  
restante aplicar uma  
carga 10% menos, no  
caso, 27tf, mantendo o  
carregamento de 27tf  
A partir dos 10 minutos e  
antes dos 15 minutos  
o CP irá romper com a  
carga 10% menor**



*Fluência e relaxação do concreto ocorrem devido às cargas mantidas,  
e devem ser consideradas no método de introdução da segurança no  
projeto estrutural.*

6

## Relaxação $\approx$ Carga mantida

conceito de relaxação  
“strength relaxation”  
→ para concreto

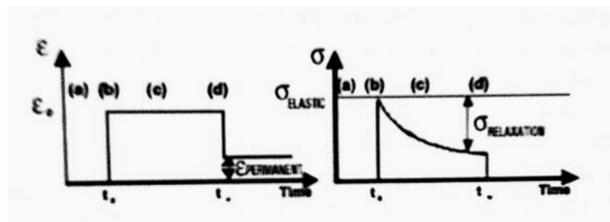
“relaxação de resistência”

PhD Engenharia

7

## Relaxação $\approx$ Carga mantida

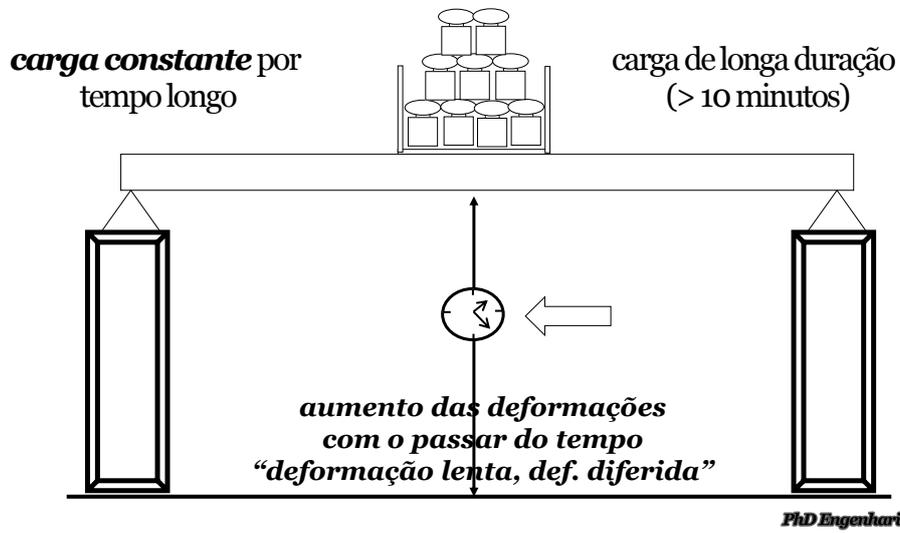
- Assim como a fluência, ocorrem devido ao movimento da água na microestrutura que resiste aos esforços.
- É a redução da tensão no concreto quando este é submetido à deformação constante.
- Com o tempo, é necessária uma carga menor para causar a mesma deformação.



PhD Engenharia

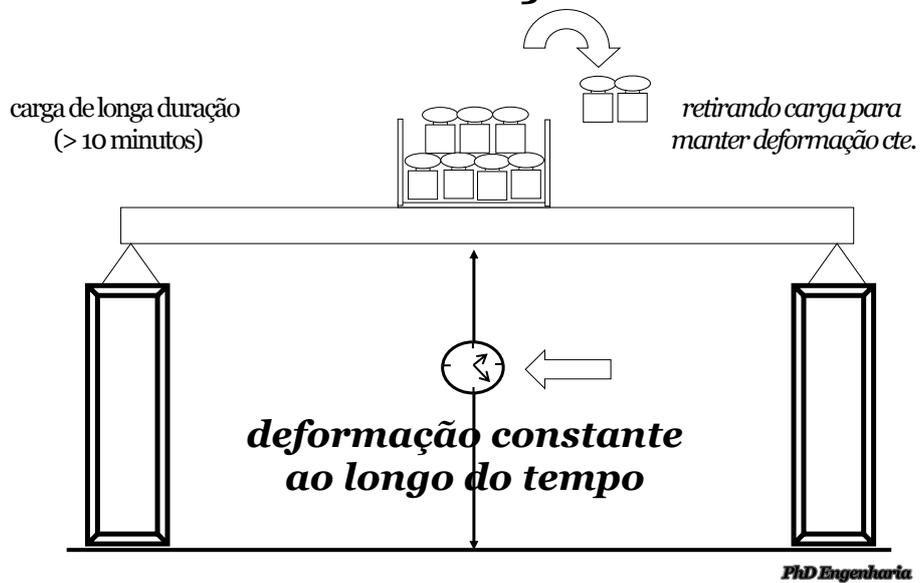
8

# Fluência



9

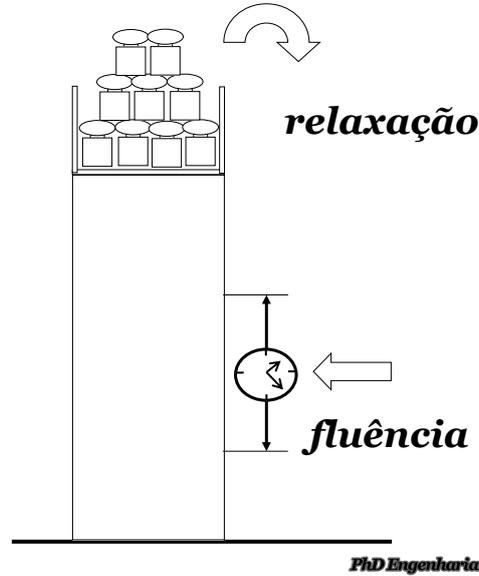
# Relaxação



10

# Relaxação ≈ Rüsç

efeitos das  
cargas de  
longa duração



11

From the work of  
Comité Européen du Béton

Title No. 57-1

## Researches Toward a General Flexural Theory for Structural Concrete

By HUBERT RÜSCH

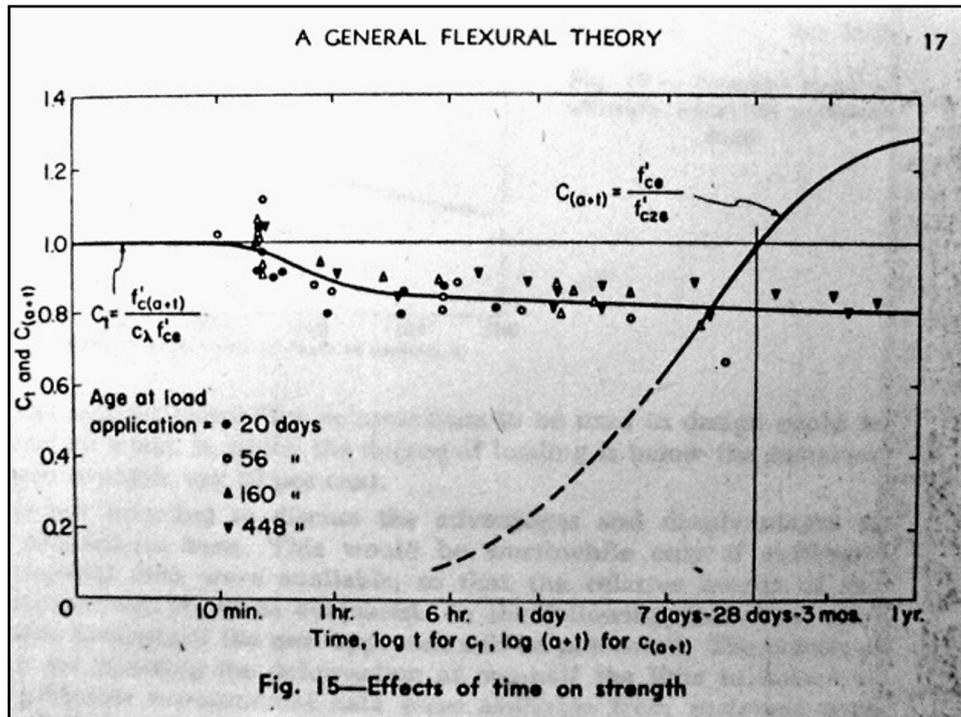
This paper is directed toward formulation of a general flexural theory based on a careful study of all important factors regarding the properties of concrete. The fact that strength and deformation of concrete depend on time is considered. The theory is based on recent tests permitting determination of the behavior of the compression zone in flexure for continuous load increase at different strain rates, and for constant sustained load. Having derived stress-strain relationships for these various types of loading, other factors were studied systematically, such as effect of concrete strength, position of neutral axis, and shape of cross section. The general theory developed is primarily a study of the true behavior of structural members. Since simplified assumptions are avoided, it naturally does not lead to simple formulas such as are desired for structural design. The theory fulfills the important function of furnishing a reliable method for the evaluation of simplified design formulas. It is also possible, however, to present all new concepts and results of this theory in the form of a simple diagram which can be used for the solution of design problems for selected cross sections ranging from pure bending to pure compression, regardless of concrete quality and the type of steel used, and independent of whether prestressing is applied or not.

■ RESEARCH IN THE STRUCTURAL CONCRETE FIELD is faced today with problems of unusual challenge. We find ourselves in a period of change characterized by the abandonment of the elastic theory in favor of the plastic theory, and by a conversion from allowable stresses as a basis of design to ultimate strength design. Although these trends have persisted for some time, the new methods are finding slow acceptance among design engineers in some countries. This is probably at least in part due to the fact that structural engineering can look back on a thousand-year tradition, and this tradition is by its nature a conservative one. Another reason of equal importance is the lack of detailed and extensive knowledge regarding the properties of materials desirable in the development and introduction of new methods.

In recent decades, progress has been made toward replacing structural design methods disregarding plastic properties of materials by

RÜSCH, Hubert.  
**Researches Toward a  
General Flexural  
Theory for Structural  
Concrete.** ACI Journal:  
Proceedings. [s.l.] Julho,  
1960. 28p. (*download e  
consulta free na biblioteca  
da PhD*)

12



13

## Hubert Rüsçh, 1960

1ª constatação:

→ “relaxação” =, qq →  $f_{ck}$

2ª constatação:

→ “relaxação” =, qq →  $t_o$

*PhD Engenharia*

14

## Hubert Rüsçh, 1960

3ª constatação:

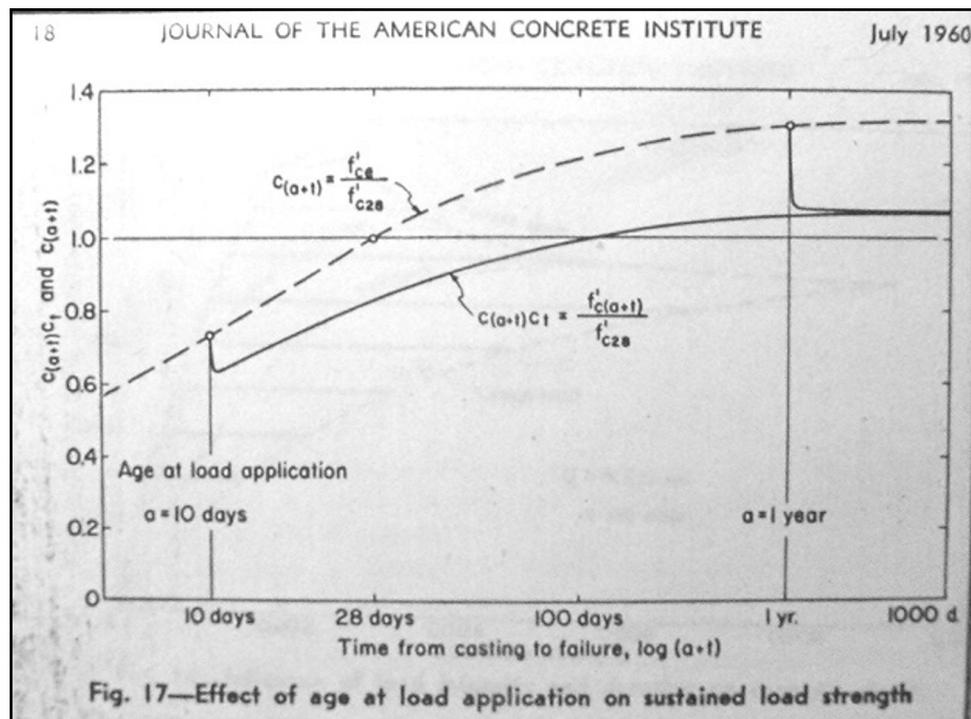
→ “relaxação” máx. =  $0,75 * f_{c,t_0}$

4ª constatação:

→ “relaxação” =, qq →  $f_{c,t_0}$

PhD Engenharia

15



16

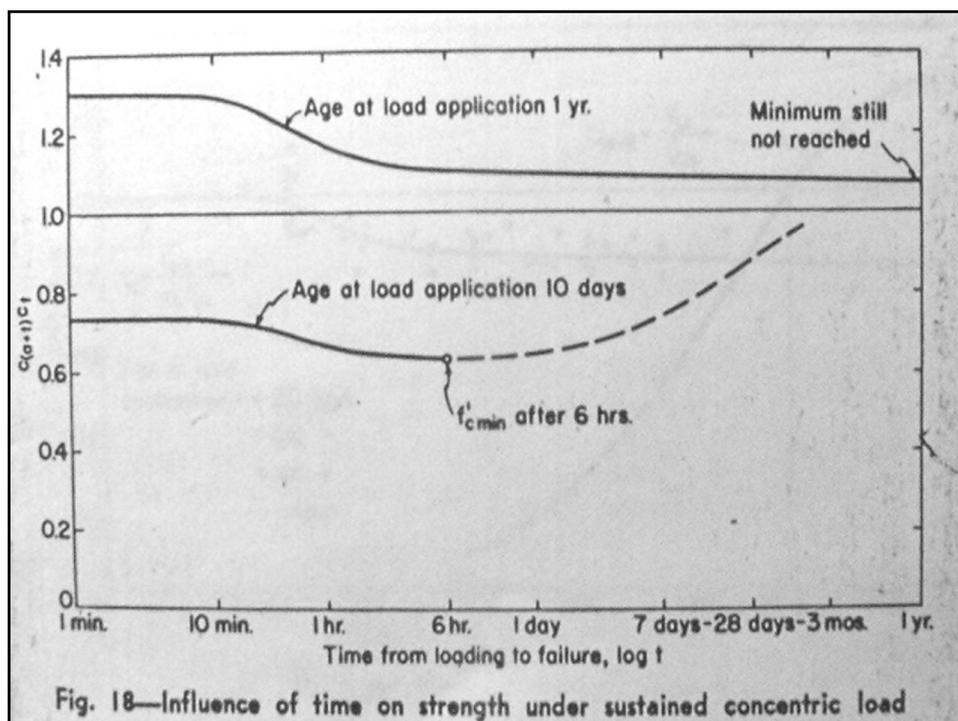
## Hubert Rüschi, 1960

5ª constatação:

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

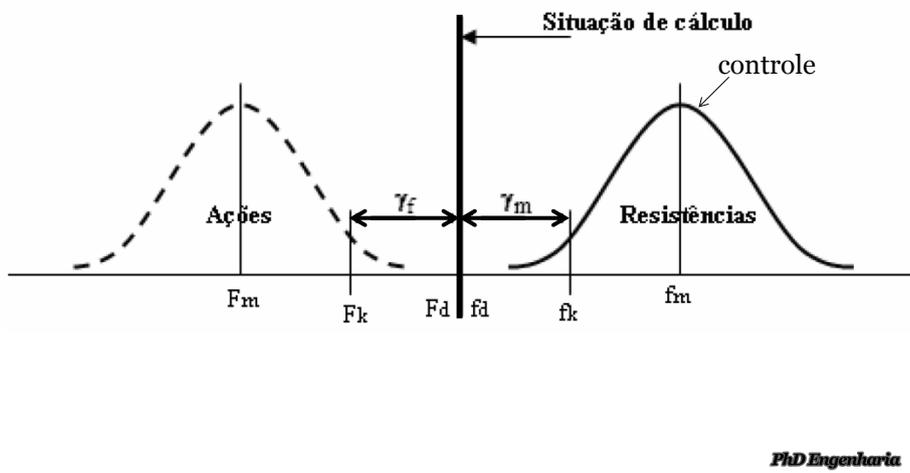
PhD Engenharia

17



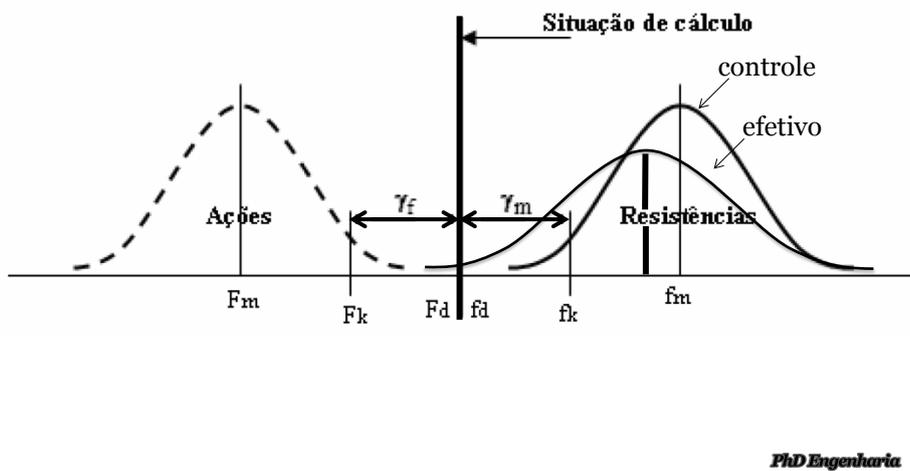
18

## Análise Semi-probabilista



19

## Análise Semi-probabilista



20

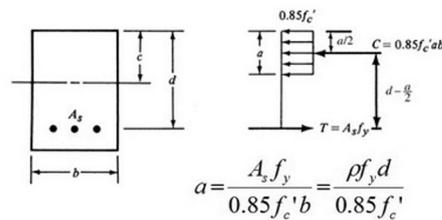
## Como é considerado o efeito de cargas de longa duração em normas internacionais?

PhD Engenharia

21

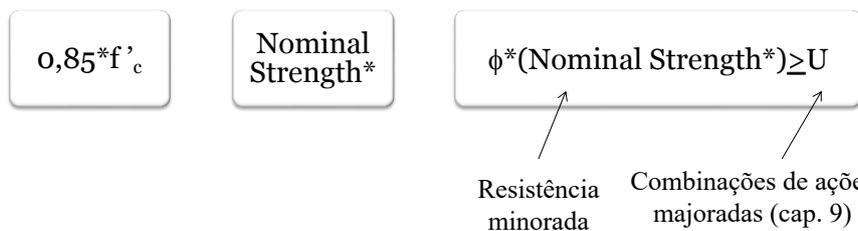
### ACI 318-11

- Atualmente em revisão



#### Item 10.2.7.1

- Considera  $0,85 * f'_c$  no processo de cálculo à flexão, tração e compressão;



PhD Engenharia

22

## ACI 318-11

- Coeficiente de minoração das resistências:  $\phi$   
(depende da natureza da solicitação)

Tração predominante	0,90	1/1,1
Compressão com estribos em espiral	0,75	1/1,3
Compressão	0,65	1/1,5
Cisalhamento e torção	0,75	1/1,3
Sistema biela-tirante	0,75	1/1,3
Zonas de ancoragem pós tracionadas	0,85	1/1,2

*PhD Engenharia*

23

## *fib* Model Code 2010

- Muito semelhante ao método preconizado pela Norma Brasileira
- Flexão e cargas axiais:  $\gamma_c = 1,35$  a  $1,50$

### Item 5.1.9.2 (strength under sustained loads)

- Compressão no concreto:

$$f_{cm,sus}(t, t_0) = f_{cm} * \beta_{cc}(t) * \beta_{c,sus}(t, t_0)$$

*PhD Engenharia*

24

**NBR 6118:2014; NBR 8681:2004**

$$0,85? \approx \beta_{cc,t} * \beta_{c,sus,t}$$
$$0,85 = 1,16 * 0,73$$

$B_{cc,t} = 1,16 \rightarrow$  crescimento  $f_{ck}$  após  $t_0$  até  $t_{\text{infinito}}$  (50 anos)

$B_{c,sus,t} = 0,73 \rightarrow$  decréscimo de  $f_{ck}$  devido às cargas de longa duração, aplicadas na idade  $t_0$  até  $t_{\text{infinito}}$  (50 anos)

$t_0$  = idade de aplicação da carga de longa duração

*(cargas permanentes + parte das acidentais)*

**PhD Engenharia**

25

??????????????

**Como cresce e como  
decrece a resistência  
com o tempo ?**

**PhD Engenharia**

26

????????????

# Como **crece** a resistência com o tempo ?

PhD Engenharia

27

## Crescimento da Resistência

*fib* Model Code 2010

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

CPV ARI	→ s	= 0,20	→	1,21 (50anos)
CP I / II	→ s	= 0,25	→	1,27 (50anos)
CP III / IV	→ s	= 0,38	→	1,44 (50anos)

PhD Engenharia

28

$\beta_{cc,t} = \text{crescimento } f_{ck} \text{ após } t_o$   
(em 50 anos)

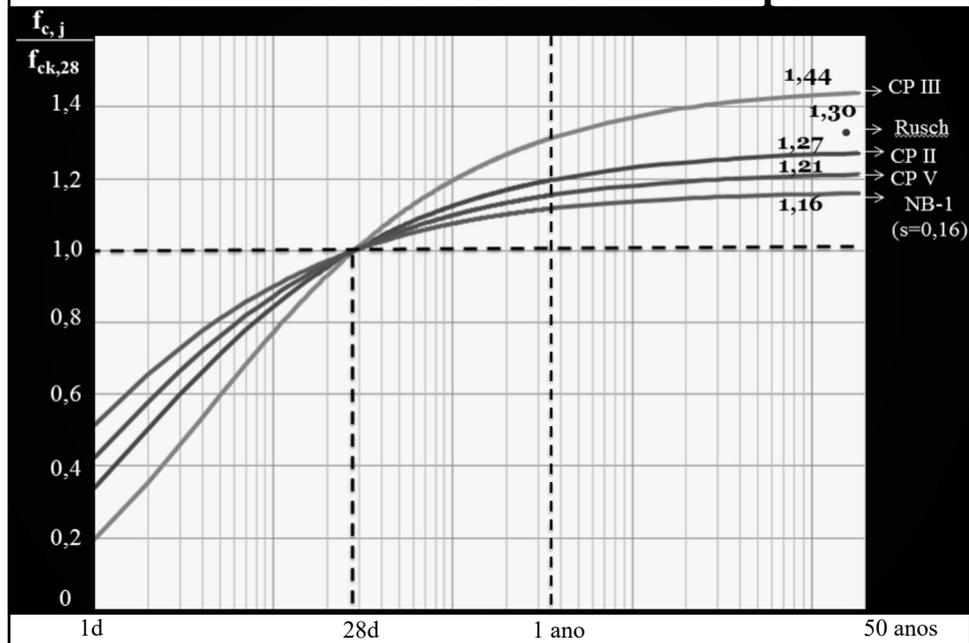
$$\beta_{cc,t} = \frac{f_{cm,t_{\infty}}}{f_{cm,t}}$$

	$t_o=28d$
Rüsch (1960)	1,30
· POZ & AF	1,44
<b>fib</b> (2010)	1,27
· normal	1,27
· ARI + CAR	1,21
NBR 6118:2014	1,16

PhD Engenharia

29

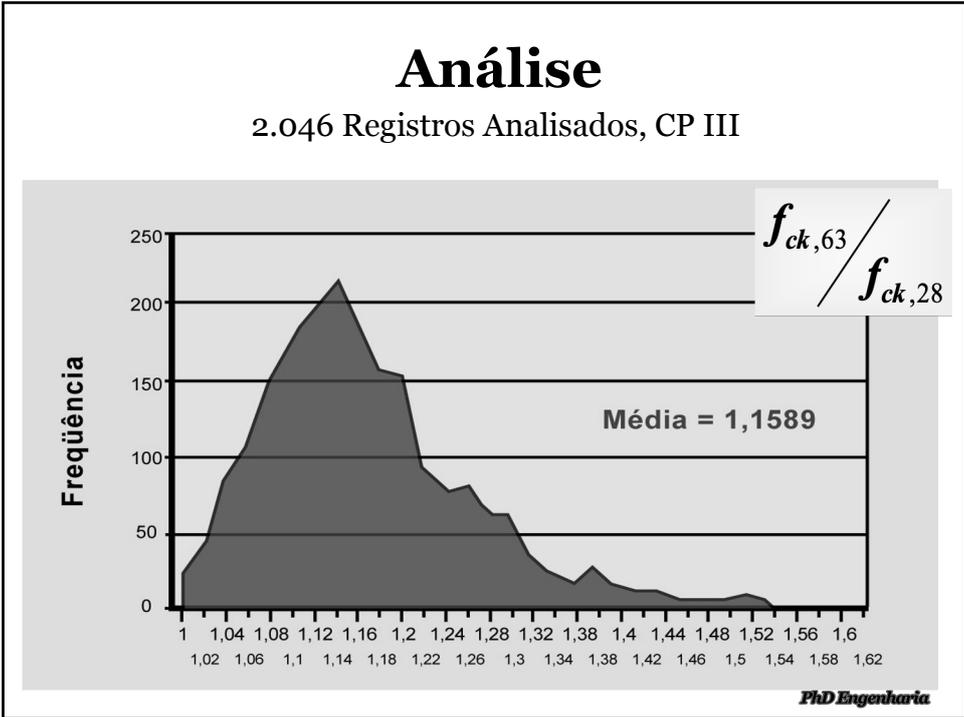
### Gráfico de crescimento x tempo



30



31



32

## Análise

8.429 Registros Analisados, todos os cimentos

- CP III -> Média: 1,16
- CP II -> Média: 1,12

*PhD Engenharia*

33

????????????

**Como decresce a  
resistência com  
o tempo ?**

*PhD Engenharia*

34

## Redução das Resistências

(efeito Rüsç)

*fib* Model Code 2010

$$\beta_{c,sus,t} = \frac{f_{cm,sus,t}}{f_{cm,t_0}}$$

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

→ t em dias

*PhD Engenharia*

35

## Redução das Resistências

(efeito Rüsç) *fib* Model Code 2010

\*Cálculo para 50 anos (admitido 18200 dias) - Carga aos 28 dias

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

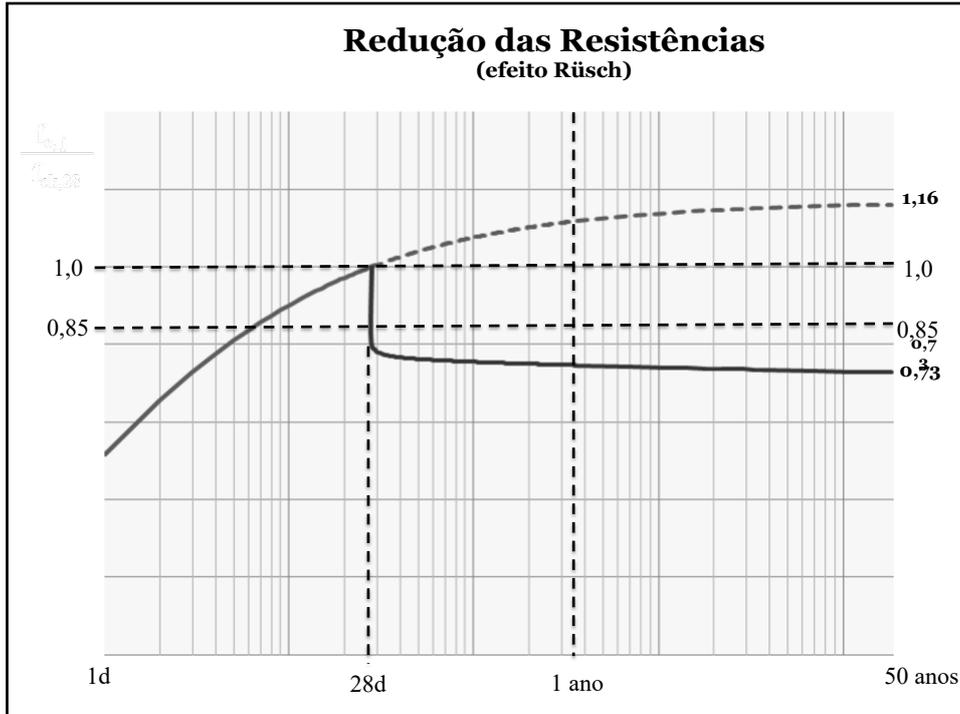
$$\frac{f_{cm,sus,18200}}{f_{cm,28}} = 0,96 - 0,12 * \sqrt[4]{\ln\{72 * (50 * 364 - 28)\}}$$

$$\frac{f_{cm,sus,18200}}{f_{cm,28}} = 0,728$$

$$\frac{f_{cm,sus,18200}}{f_{cm,28}} = 0,73$$

*PhD Engenharia*

36



37

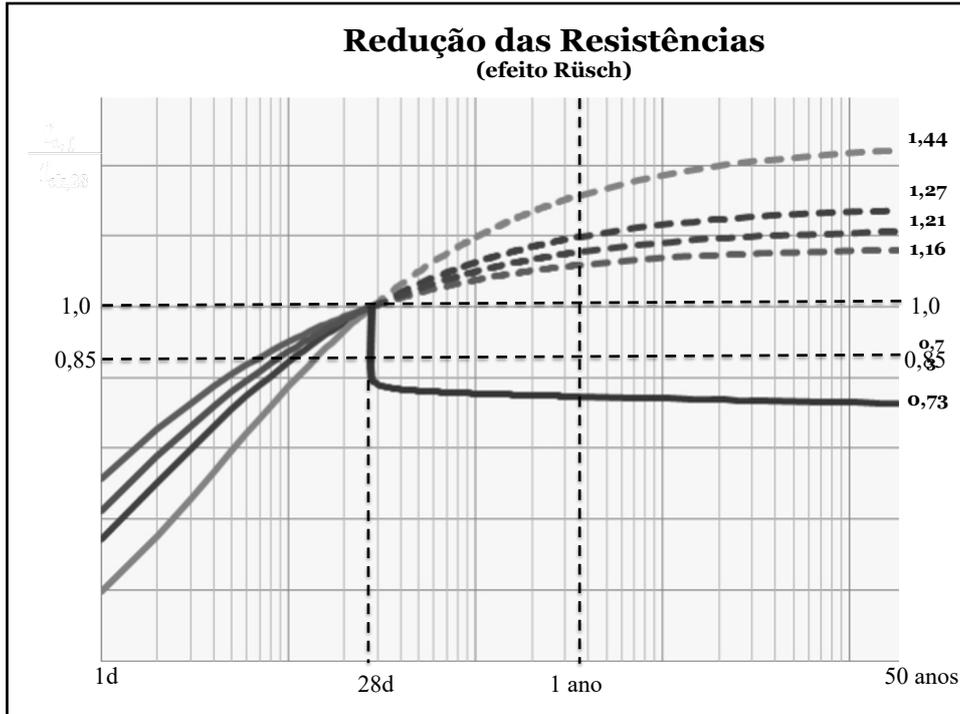
**$\beta_{c,sus,t}$  = decréscimo de  $f_c$  devido às cargas de longa duração, aplicadas na idade  $t_0 = q$  (em 50 anos)**

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

	<b>t infinito</b>
Rüsçh (1960)	0,75
<b>fib</b> (2010)	0,73
NBR 6118:2014	0,73

**PhD Engenharia**

38



39

????????????

# resistência do concreto com o tempo ?

*PhD Engenharia*

40

# Resistência

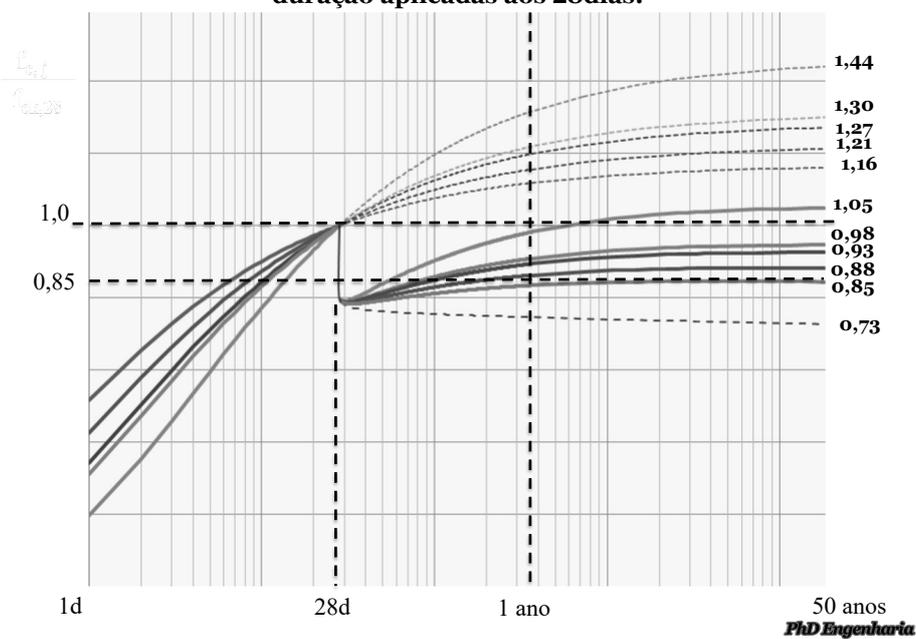
Resistência final do concreto a **50 anos** de idade para cargas de longa duração aplicadas aos 28 dias:

		crece	decrece	resulta
Rüsch		1,30	0,75	0,98
	CP III & IV	1,44	0,73	1,05
CEB (2010)	CP I & II	1,27	0,73	0,93
	CP V & CAR	1,21	0,73	0,88
NBR 6118:2014		1,14	0,75	0,85

**PhD Engenharia**

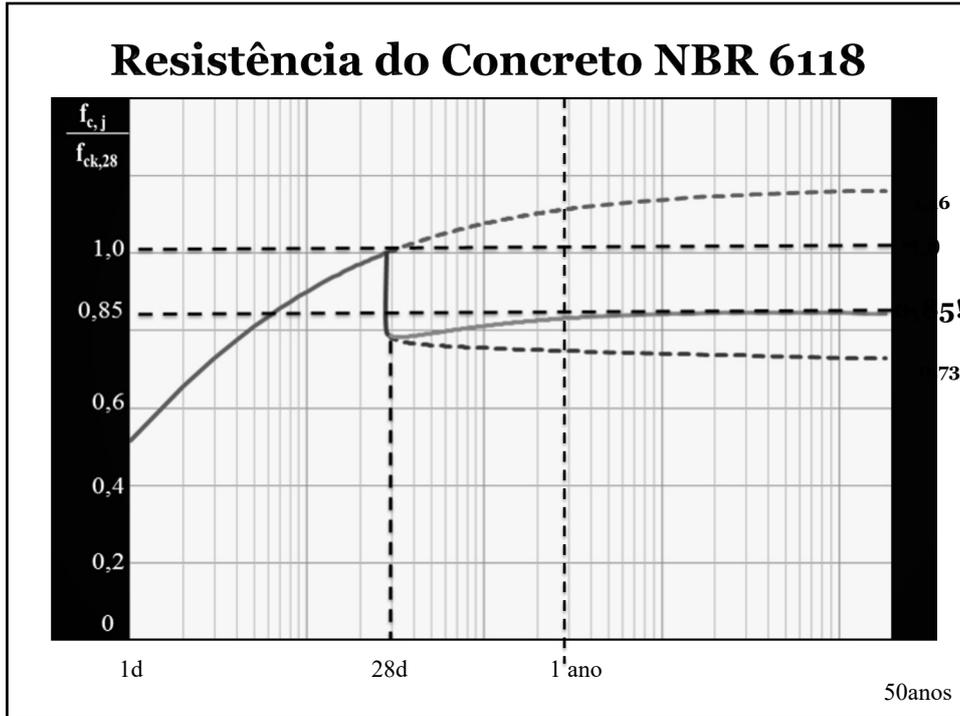
41

Resistência final do concreto a 50 anos de idade para cargas de longa duração aplicadas aos 28 dias:

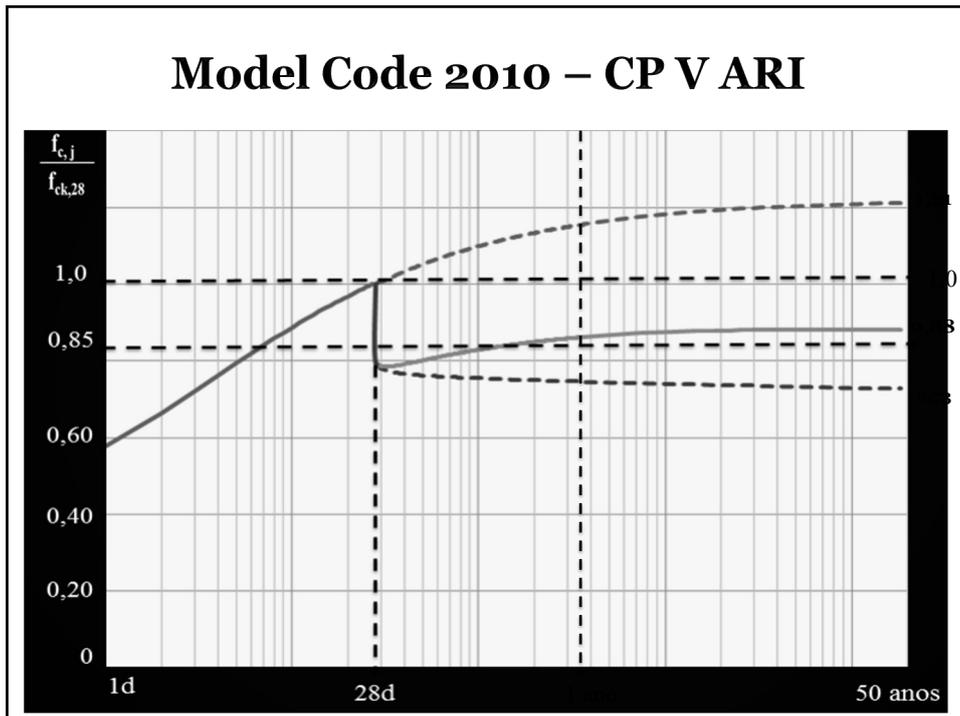


**PhD Engenharia**

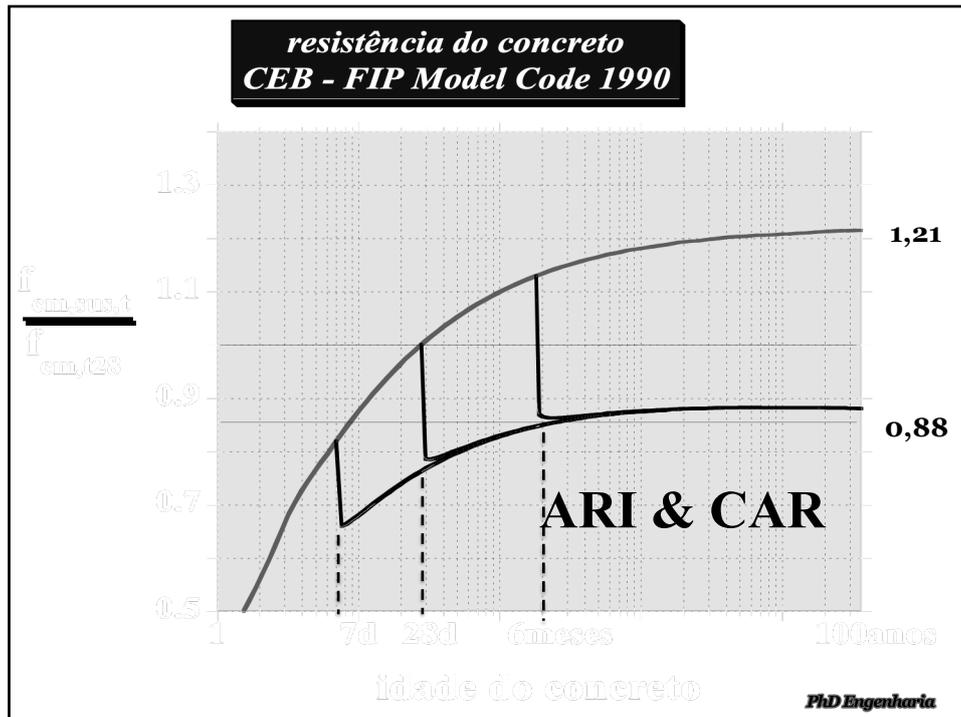
42



43



44



45

Quando efetivamente os elementos estruturais são carregados?

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

**PhD Engenharia**

46

## Qual o melhor período para carregamento da estrutura para $f_{ck}$ a 28dias?

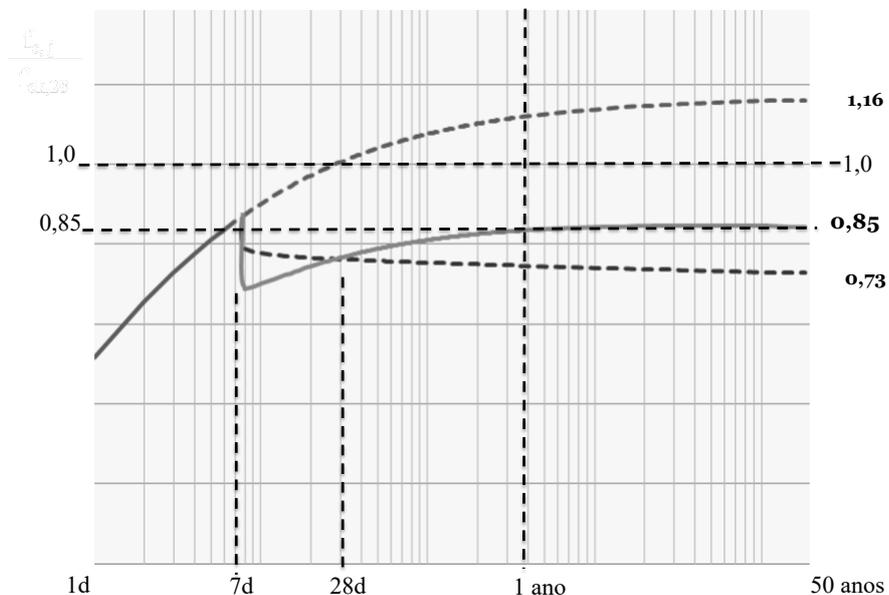
Concreto Normal,  $s=0,16$  e  $B_{cc,50anos} = 1,16$

$\Delta t$ após carga	7d	28d	63d	6 meses
20 min	0,79	0,92	0,97	0,86
0,5 h	0,74	0,86	0,91	0,86
1 h	0,72	0,84	0,88	0,86
10h	0,69	0,80	0,84	0,86
1dia	0,69	0,79	0,83	0,86
1 mês	0,78	0,80	0,82	0,84
3 meses	0,81	0,82	0,82	0,84
6 meses	0,82	0,83	0,83	0,84
1 ano	0,83	0,83	0,84	0,84
50 anos	0,85	0,85	0,85	0,85

PhD Engenharia

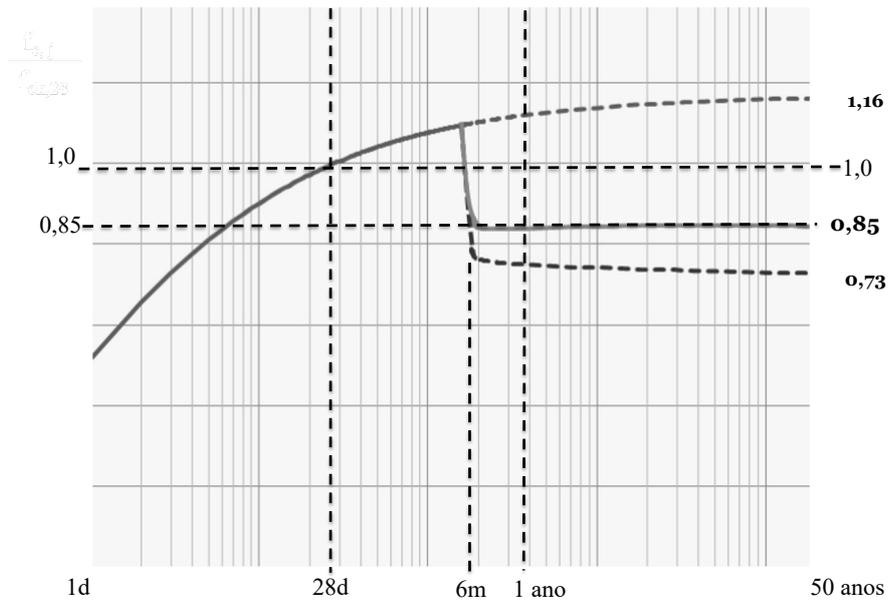
47

## Resistência do Concreto “carregado” a 7dias



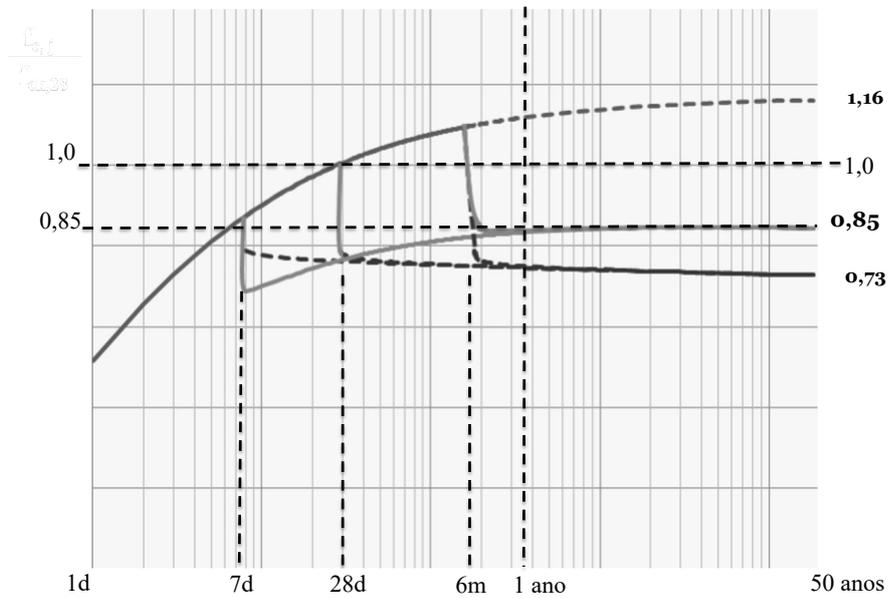
48

### Resistência do Concreto “carregado” a 6 meses

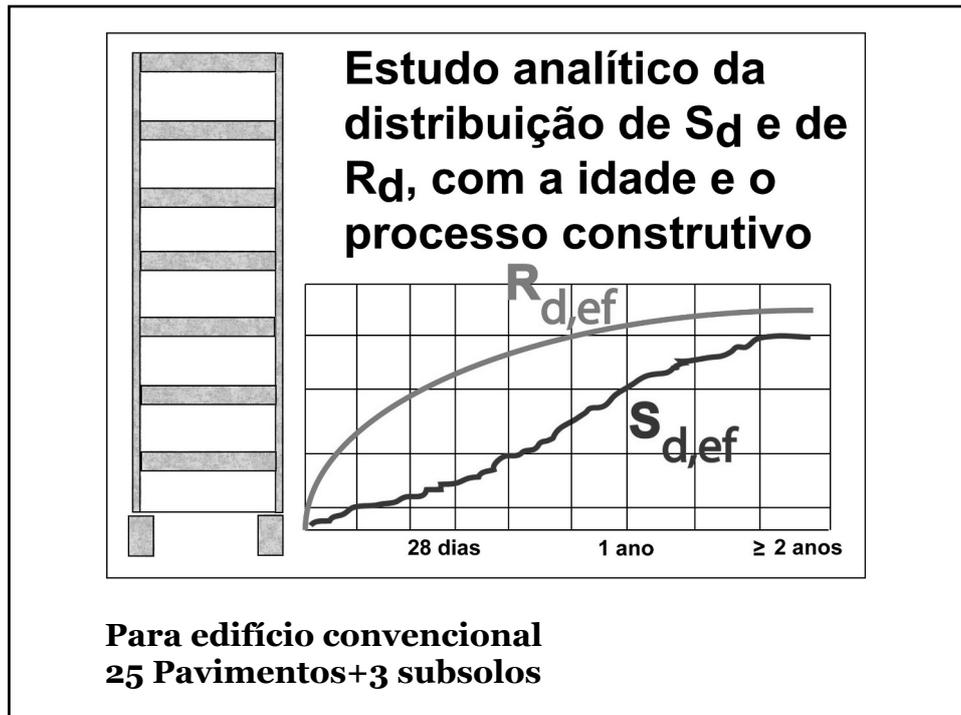


49

### Concreto “carregado” aos 7 dias, 28 dias e 6 meses



50



51

## Edifício convencional

Considerações iniciais:

- 25 pavimentos+3subsolos
- Produção de 1 pavimento por semana
- Retira-se cimbramento (carrega-se pavimentos aos 28dias)
- $f_{ck}=40\text{MPa}$

*PhD Engenharia*

52

## Edifício convencional

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

- Estrutura:  $600\text{kg/m}^2$  → 52%
- Piso e contrapiso:  $130\text{kg/m}^2$  } 30%
- Alvenaria:  $220\text{kg/m}^2$  }
- Ação variável:  $200\text{kg/m}^2$  → 18%

Peso próprio de  $950\text{kg/m}^2$

para UM pavimento, temos:

82% se totalmente terminado;

52% somente com a estrutura terminada;

*PhD Engenharia*

53

## Edifício convencional, 25 pavimentos

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

Para pilares no 5º pavimento (receberá 20 pavimentos acima):

*Após 63 dias...8 semanas e 8 pavimentos concretados acima*

- Edifício no 13º pavimento :  $\frac{8}{20}=40\%$  do peso a ser suportado!
- Não foi iniciada alvenaria, logo:  $0,52*0,40=$  **21%** do projetado

CONSIDERAR EFEITO RUSCH?

*PhD Engenharia*

54

## Edifício convencional

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

1ª caso: Extração aos 63 dias  $\rightarrow f_{c,63} = 43,0\text{MPa}$

- Conversão para 28 dias (“s”=0,16 NBR 6118:2014)

$$f_{c,28} * 1,053 * 0,759 = 43,0 \quad \rightarrow f_{c,28} = \mathbf{53,8\text{MPa}}$$

2ª caso: Extração a um ano: 365 dias  $\rightarrow f_{c,365} = 43,0\text{MPa}$

- Conversão para 28 dias (“s”=0,16 NBR 6118:2014)

$$f_{c,28} * 1,118 * 0,746 = 43,0 \quad \rightarrow f_{c,28} = \mathbf{51,6\text{MPa}}$$

CONSIDERAR EFEITO RUSCH?

*PhD Engenharia*

55

## Retrofit > 50anos

3ª caso: Extração a 50 anos  $\rightarrow f_{c,18250} = 21,0\text{MPa}$

Conversão para resistência 28 dias (“s”=0,16 NBR 6118:2014)

$$f_{c,28} * 1,16 * 0,73 = 21,0 \quad \rightarrow f_{c,28} = \mathbf{24,8\text{MPa}}$$

0,85!

*PhD Engenharia*

56

## Retrofit

3ª caso: Extração a 50 anos ->  $f_{c,18250} = 21,0\text{MPa}$

Conversão para resistência 28 dias ("s"=0,16 NBR 6118:2014)

$$f_{c,28} * \underbrace{1,16 * 0,73}_{0,85!} = 21,0 \quad \rightarrow f_{c,28} = \mathbf{24,8\text{MPa}}$$

$$\sigma_{cd} = f_{cd} * \mathbf{0,85} / \gamma_c$$

*PhD Engenharia*

57

## Retrofit

3ª caso: Extração a 50 anos ->  $f_{c,18250} = 21,0\text{MPa}$

Conversão para resistência 28 dias ("s"=0,16 NBR 6118:2014)

$$f_{c,28} * \underbrace{1,16 * 0,73}_{0,85!} = 21,0 \quad \rightarrow f_{c,28} = \mathbf{24,8\text{MPa}}$$

$$\sigma_{cd} = f_{cd} * \mathbf{0,85} / \gamma_c$$

$$\sigma_{cd} = \mathbf{21,0} / \gamma_c$$

$$\sigma_{cd} = \mathbf{21,0} / 1,26 = \mathbf{16,6\text{MPa}}$$

*PhD Engenharia*

58

# Dúvidas

Uma vez que  $\beta_{cc} * \beta_{c,sus}$  é variável e depende da idade de carga e do concreto, faz sentido usar o coeficiente fixo

$$\beta_{cc} * \beta_{c,sus} = 0,85?$$

*PhD Engenharia*

59

Em lugar de

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

*PhD Engenharia*

60

## Proposta

$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * \beta_{cc,t} * \beta_{c,sus,t}$$

- $B_{cc,t}$  → tipo de cimento e relação a/c
- $B_{c,sus,t}$  → idade de aplicação da carga

*PhD Engenharia*

61

## 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?

*PhD Engenharia*

62

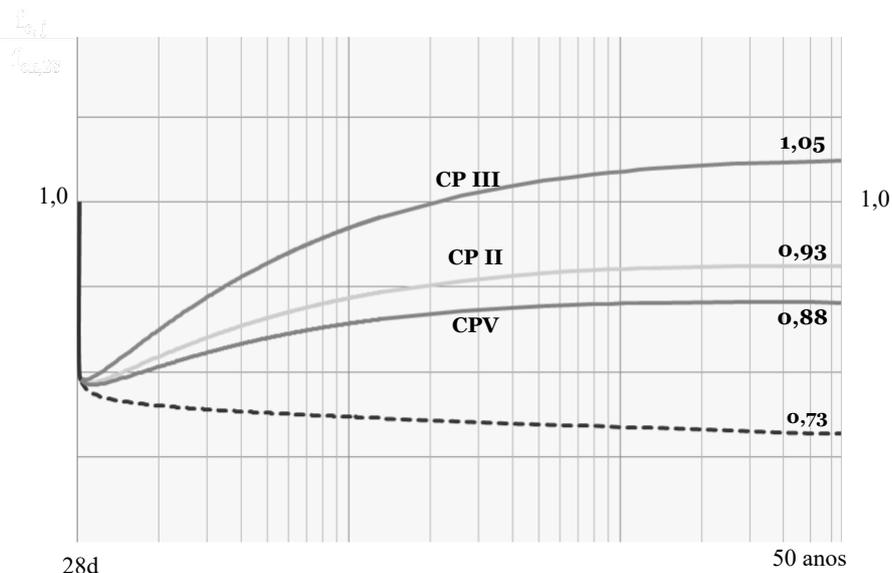
# Proposta

- 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)

PhD Engenharia

63

## Influência do tipo de cimento no crescimento da resistência (“carregado” aos 28 dias)

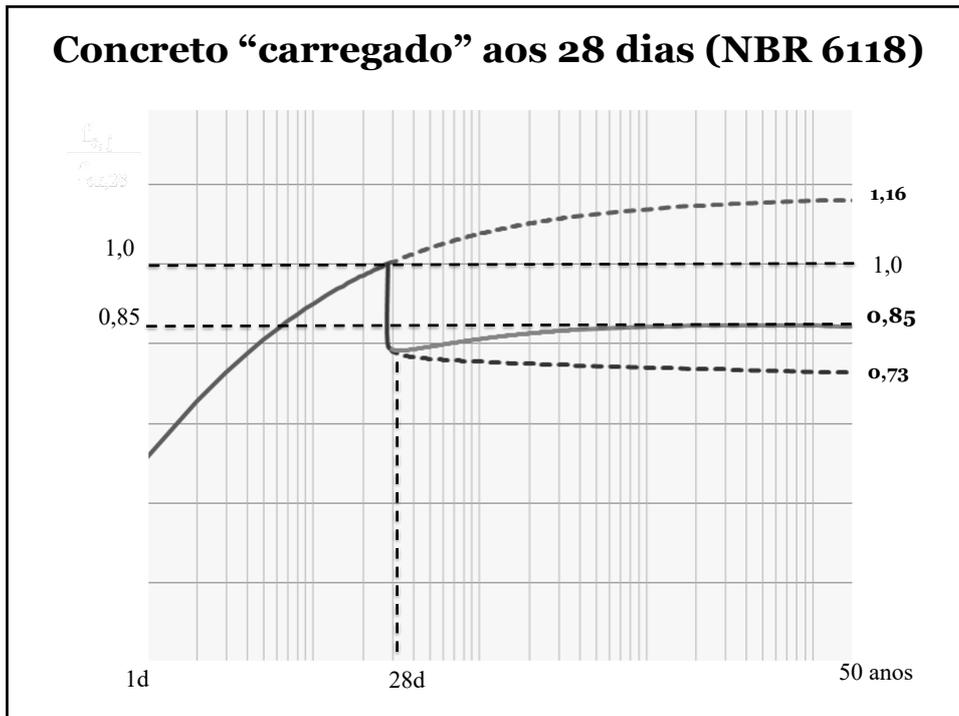


64

<b>Carregamento</b>	<b>Idade</b>	<b><math>\beta</math> mínimo</b>	<b>Concreto</b>
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

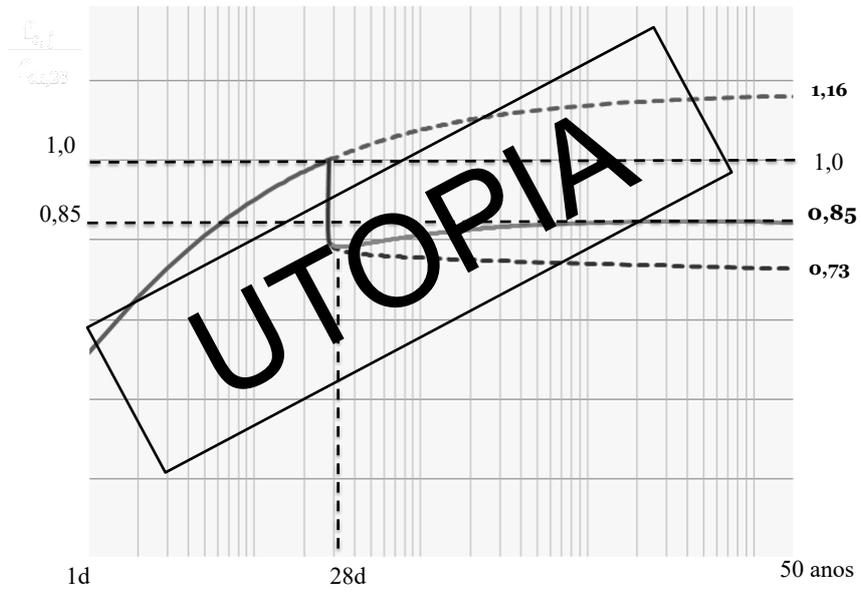
**PhD Engenharia**

65



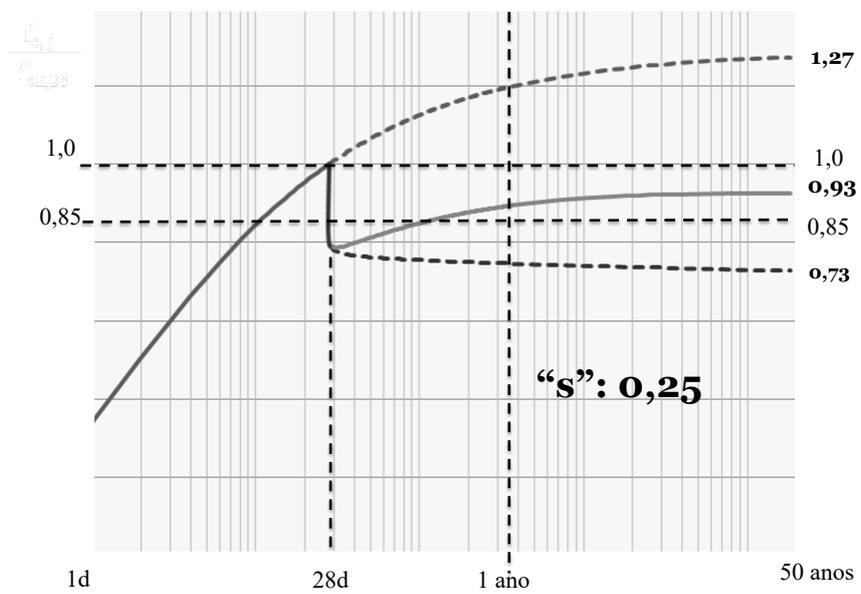
66

### Concreto “carregado” aos 28 dias (NBR 6118)

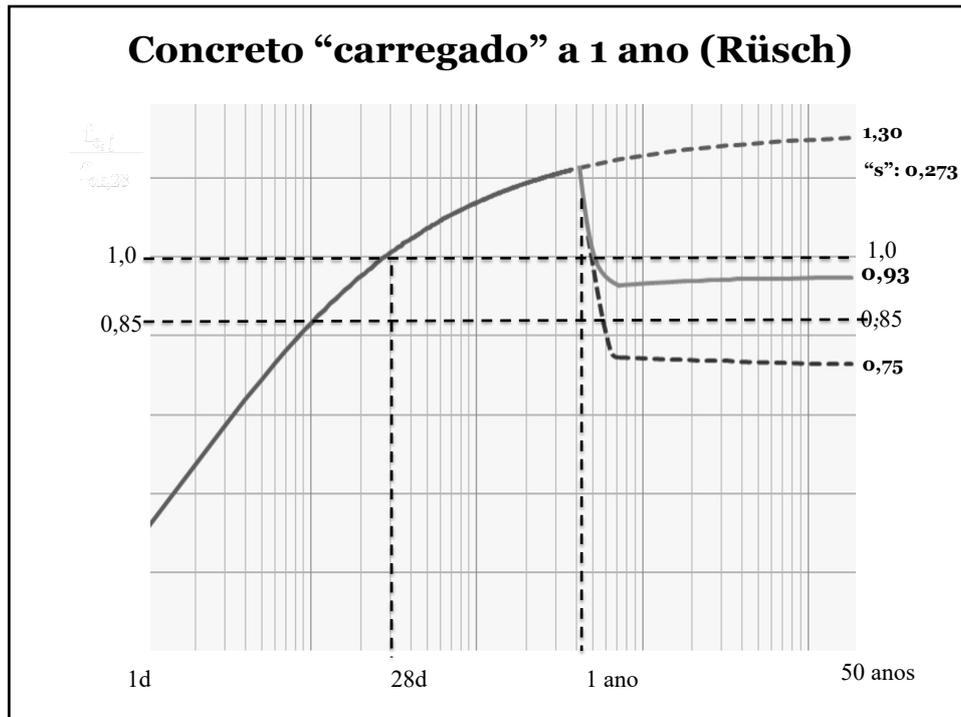


67

### Concreto “carregado” aos 28 dias (REAL ?)



68



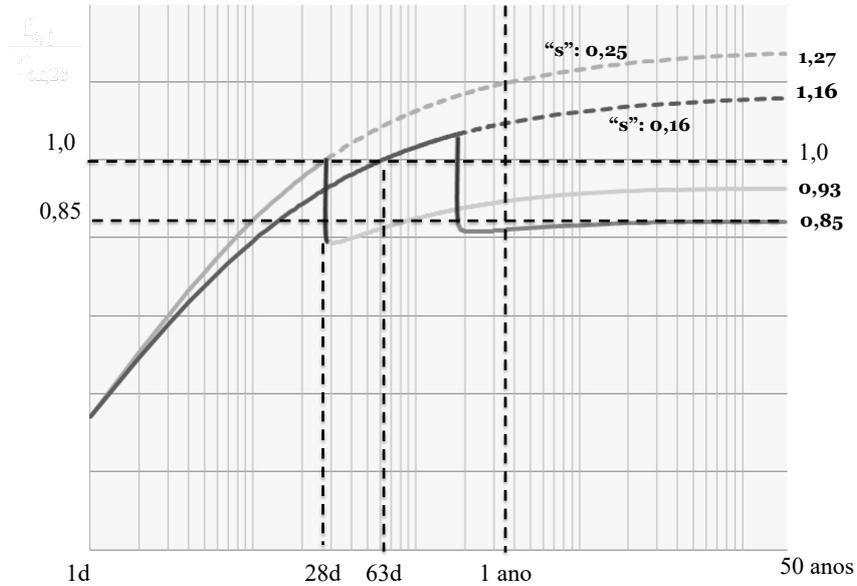
69

Por razões óbvias de sustentabilidade é conveniente adotar  $f_{ck}$  a 63dias e não a 28dias. Considerando o caso de um edifício de 25andares há alteração da segurança?

*PhD Engenharia*

70

**premissa de projeto:  $f_{ck}$  para 28 dias e carga aos 28 dias**  
**alternativa:  $f_{ck}$  para 63 dias e carga a 6 meses (pilares)**

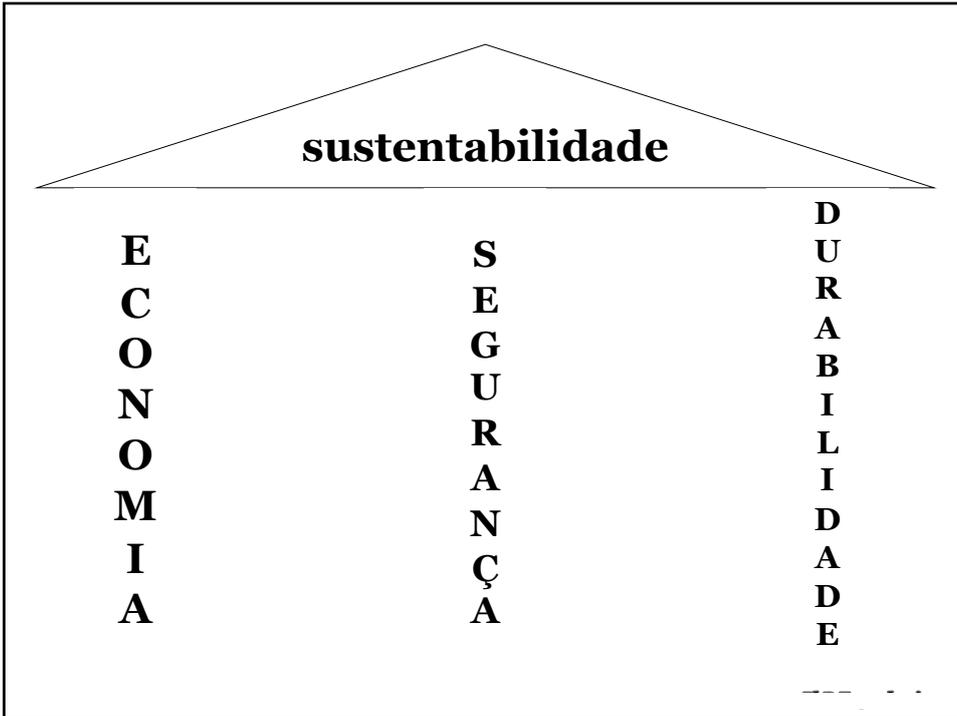


71

$\Delta t$ após carga	$f_{ck28}$ , carga 28d ("s": 0,25)	$f_{ck63}$ , carga 180d ("s": 0,16)
20 min	0,92	0,98
0,5 h	0,86	0,92
1 h	0,84	0,89
10h	0,80	0,85
1dia	0,79	0,84
1 mês	0,80	0,82
3 meses	0,82	0,82
6 meses	0,83	0,82
1 ano	0,83	0,83
50 anos	0,85	0,85

*PhD Engenharia*

72



73



*PhD Engenharia*

74

## Bibliografia Efeito Rüsçh

*ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. (consulta free na biblioteca da PhD)*

*ABNT NBR 8681:2003 Versão Corrigida:2004 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. (consulta free na biblioteca da PhD)*

*ACI-318-11 – Building Code Requirements for Structural Concrete. (consulta free na biblioteca da PhD)*

*fib Model Code for Concrete Structures 2010. (consulta free na biblioteca da PhD)*

**PhD Engenharia**

75

## Bibliografia

**ISO 22111:2007. Basis for Design of Structures. General Requirements.**

HELENE, Paulo. **Resistência do Concreto sob Carga Mantida e a Idade de estimativa da Resistência Característica** In: III Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, 1993, São Paulo. III Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto. , 1993. p.271 – 282. *(consulta free na biblioteca da PhD)*

RÜSCH, Hubert. **Researches Toward a General Flexural Theory for Structural Concrete.** ACI Journal: Proceedings. [s.l.] Julho, 1960. 28p. *(consulta free na biblioteca da PhD)*

**PhD Engenharia**

76

# OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

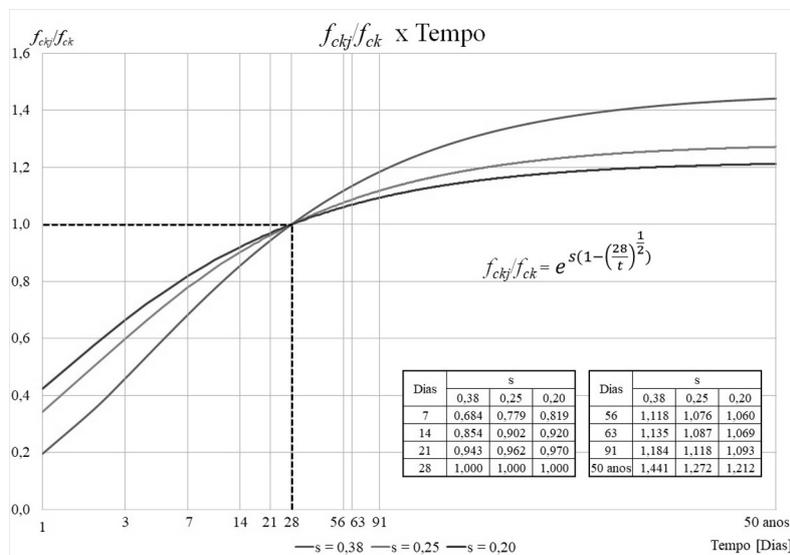
[www.concretophd.com.br](http://www.concretophd.com.br)  
[www.phd.eng.br](http://www.phd.eng.br)

11-2501-4822 / 23  
 11-7881-4014

**PhD Engenharia**

77

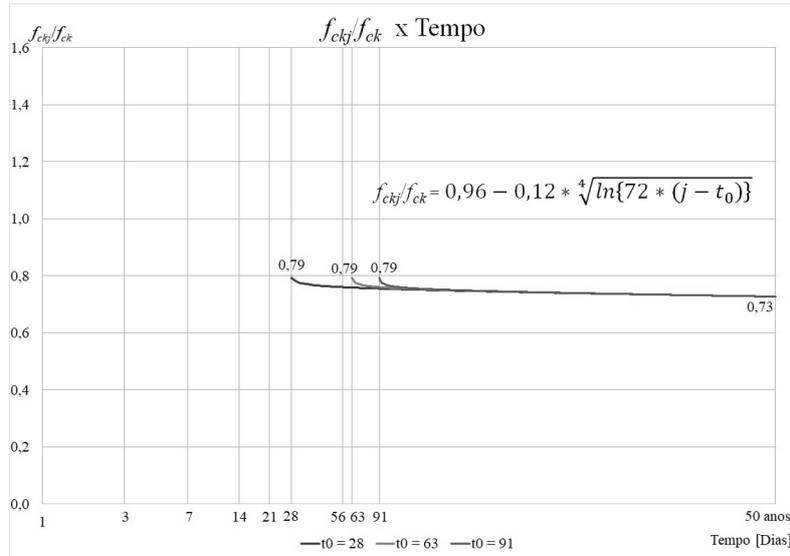
## Resistência de Cálculo do Concreto NBR 6118:2014



**PhD Engenharia**

78

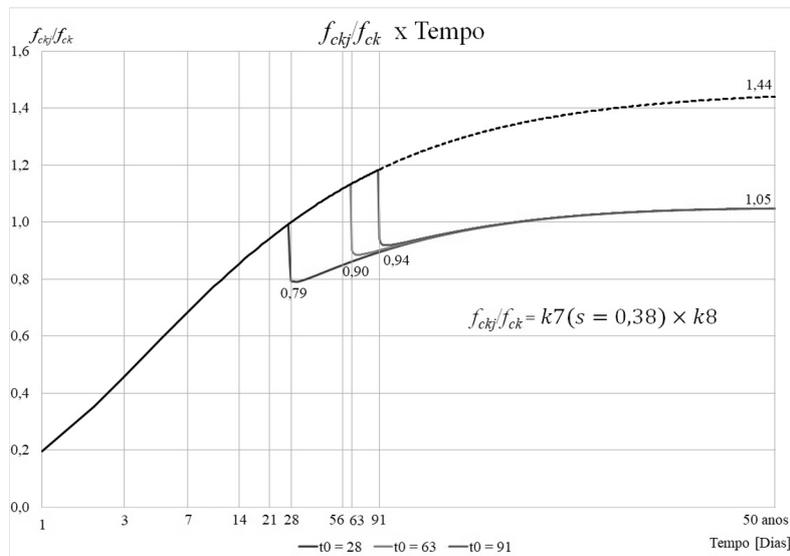
## Resistência de Cálculo do Concreto NBR 6118:2014



**PhD Engenharia**

79

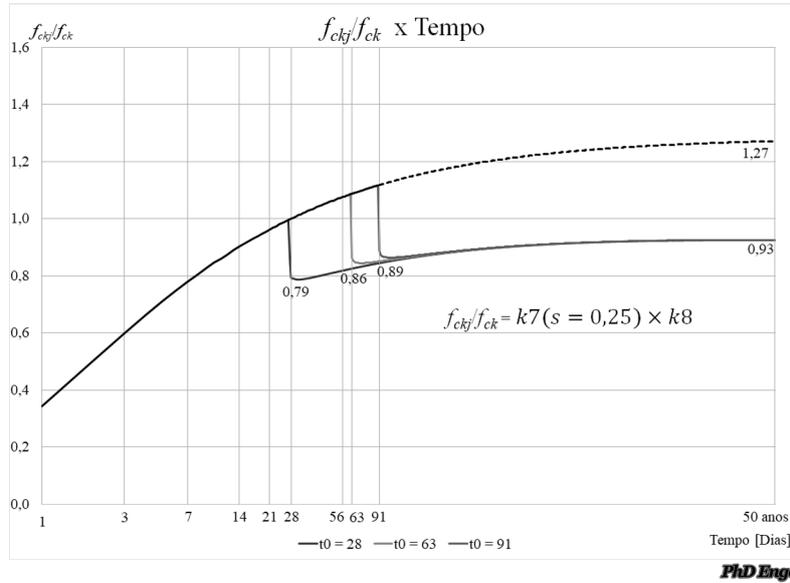
## Resistência de Cálculo do Concreto NBR 6118:2014



**PhD Engenharia**

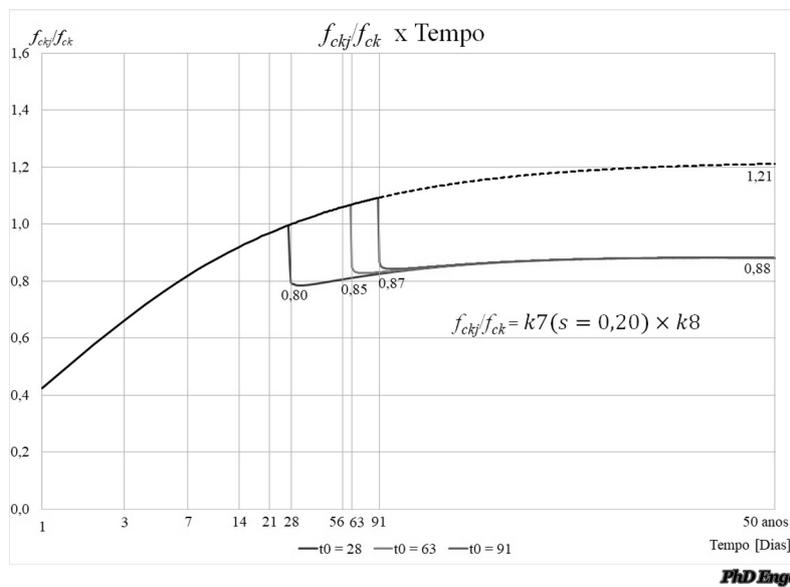
80

## Resistência de Cálculo do Concreto NBR 6118:2014



81

## Resistência de Cálculo do Concreto NBR 6118:2014



82

## **Resistência de Cálculo do Concreto NBR 6118:2014**

Da NBR 6118:2014

$s = 0,38$  para concreto de cimento CPIII e IV;

$s = 0,25$  para concreto de cimento CPI e II;

$s = 0,20$  para concreto de cimento CPV-ARI;

$t$  é a idade efetiva do concreto, expressa em dias.

*PhD Engenharia*