



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.

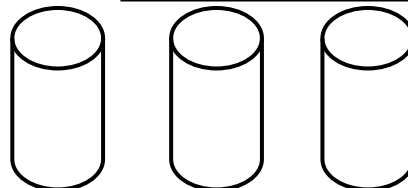
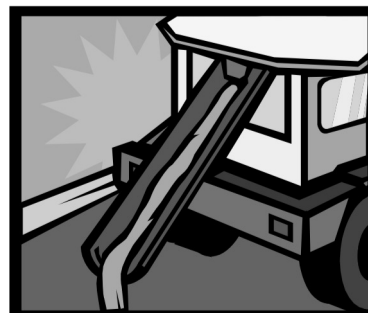
PhD Engenharia

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

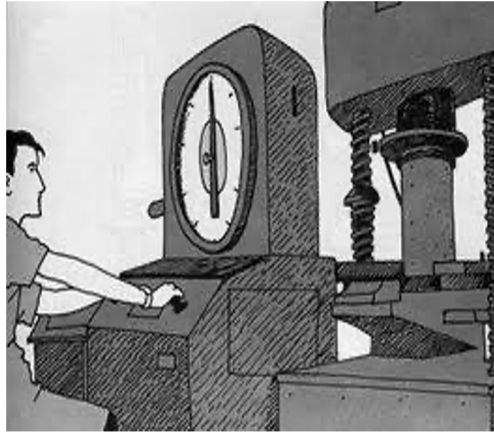
4

Carga mantida → como comprovar ?

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

**Por exemplo → carga de
ruptura:**

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

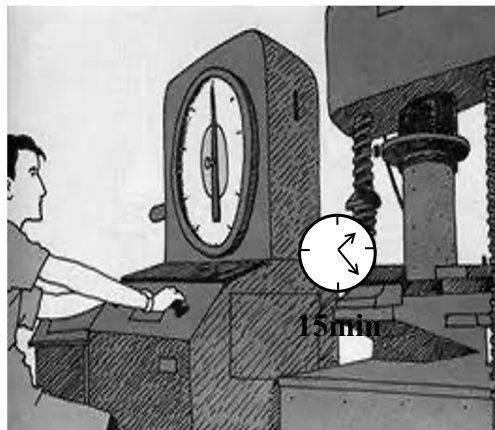


PhD Engenharia

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

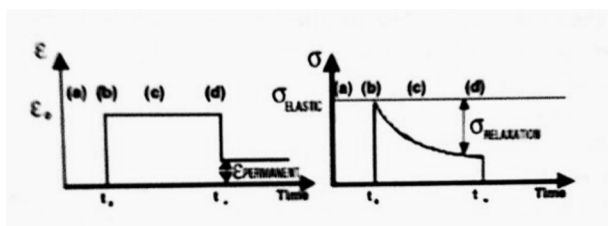
“relaxação de resistência”

PhD Engenharia

7

Relaxação \approx Carga mantida

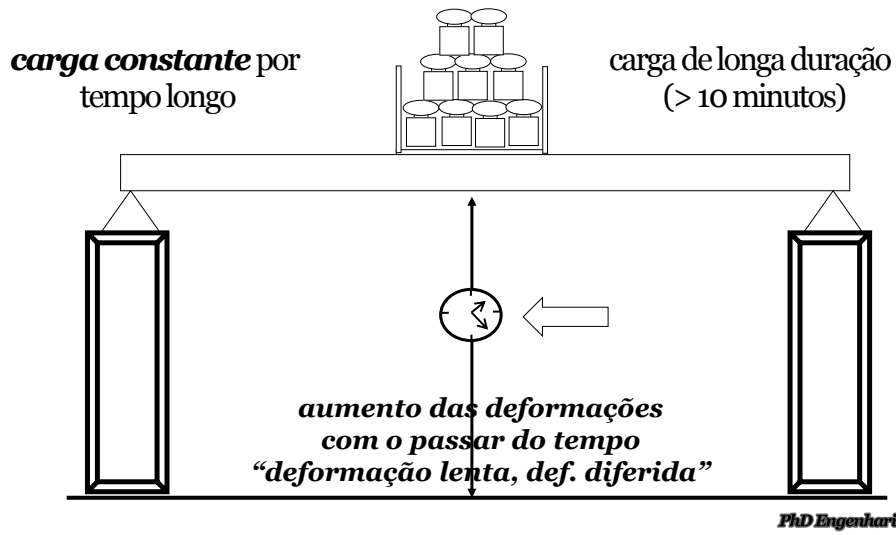
- Assim como a fluência, ocorrem devido ao movimento da água na microestrutura que resiste aos esforços.
- É a redução da tensão no concreto quando este é submetido à deformação constante.
- Com o tempo, é necessária uma carga menor para causar a mesma deformação.



PhD Engenharia

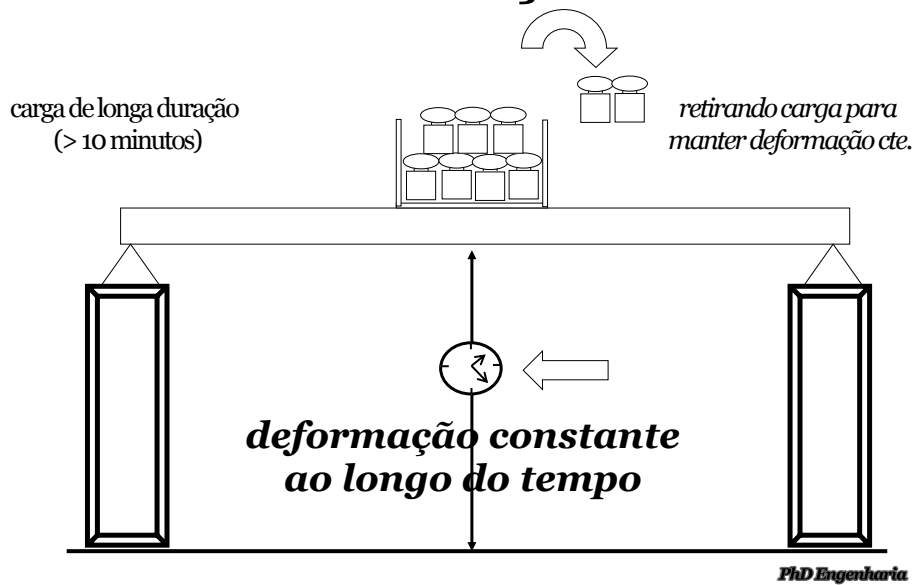
8

Fluência



9

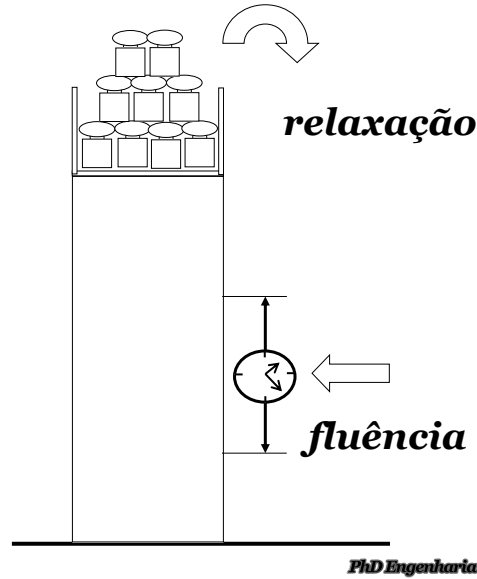
Relaxação



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

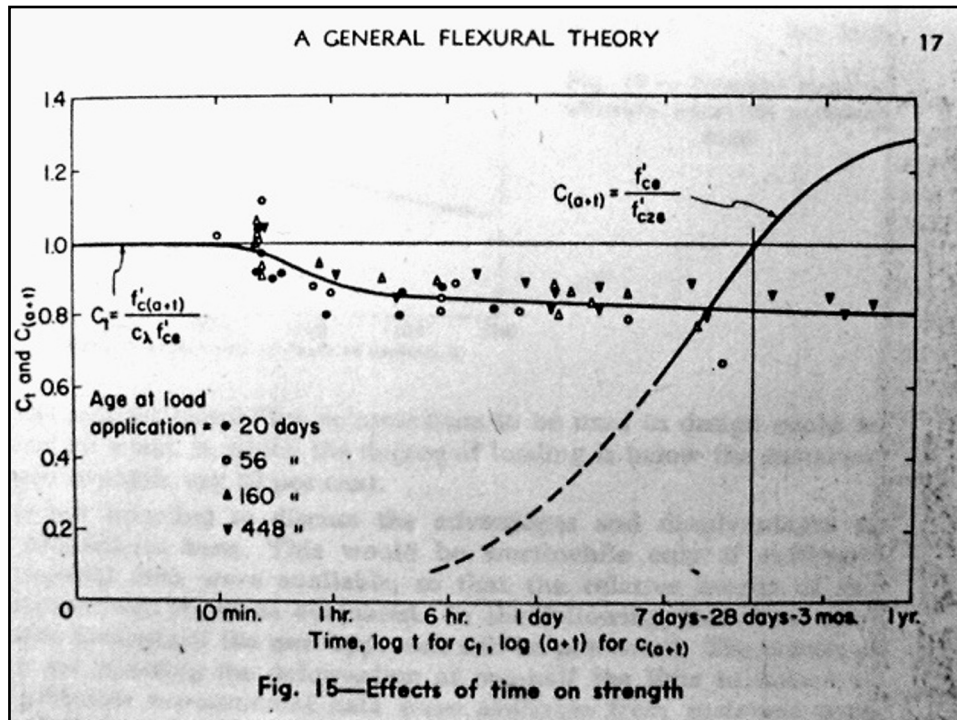
This paper is directed toward formulation of a general flexural theory based on a careful study of all important factors regarding the properties of concrete. The fact that strength and deformation of concrete depend on time is considered. The theory is based on recent tests permitting determination 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 Rüsch, 1960

1ª constatação:

→ “relaxação” =, qq → f_{ck}

2ª constatação:

→ “relaxação” =, qq → t_o

14

Hubert Rüsçh, 1960

3ª constatação:

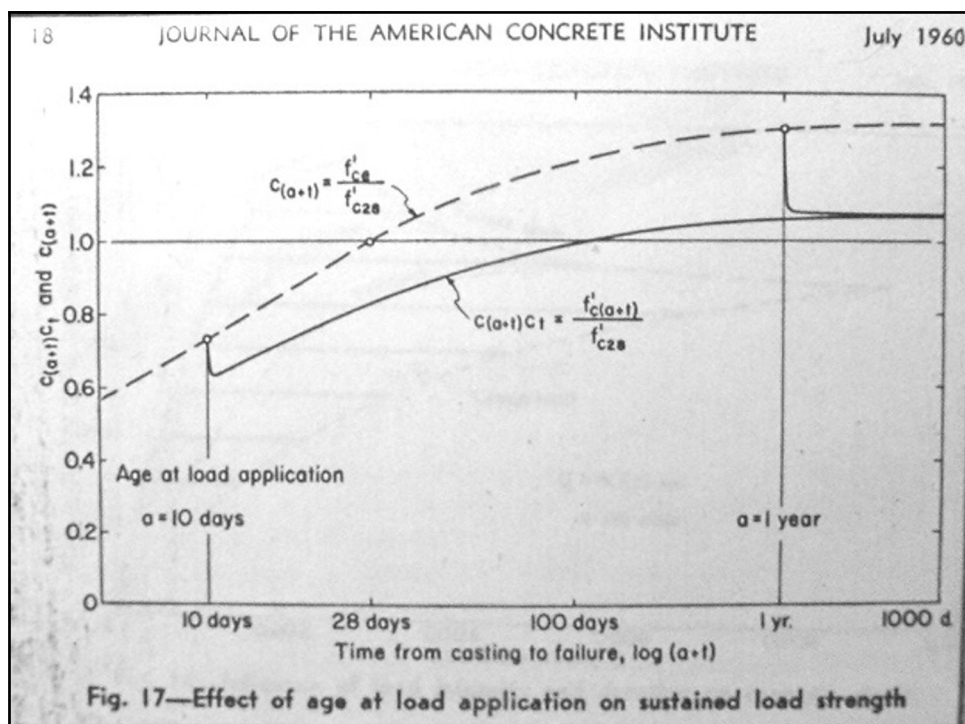
→ “relaxação” máx. = $0,75 * f_{c,t_0}$

4ª constatação:

→ “relaxação” =, qq → f_{c,t_0}

PhD Engenharia

15



16

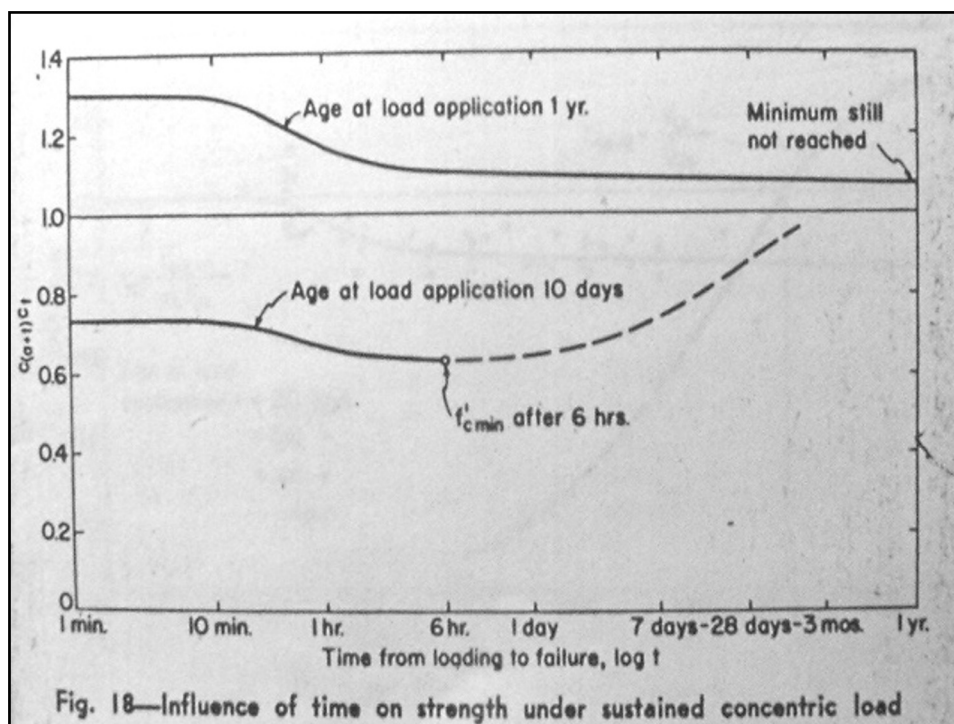
Hubert Rüschi, 1960

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}

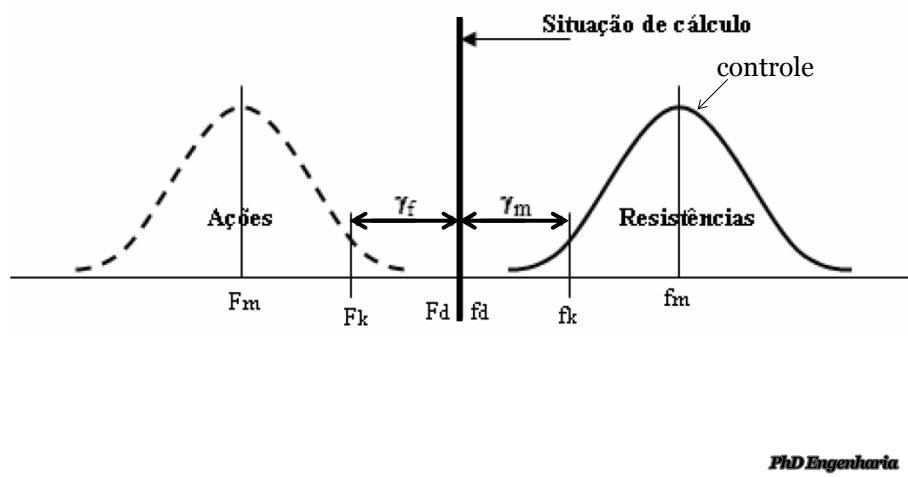
PhD Engenharia

17



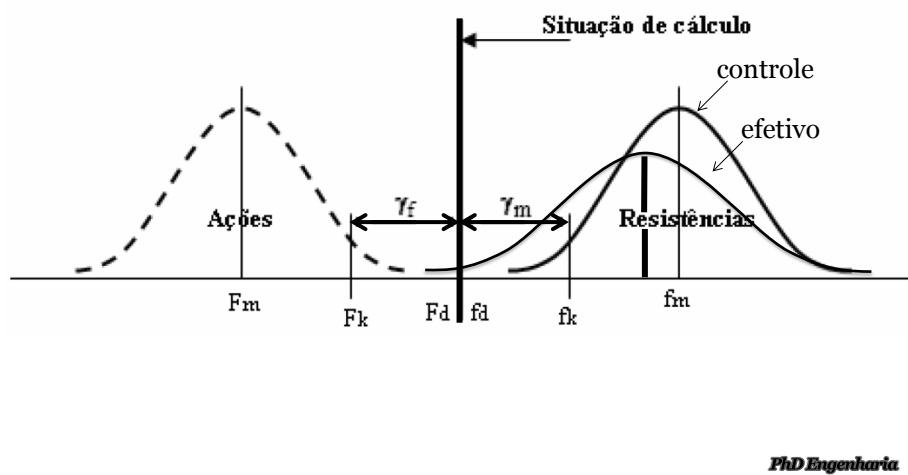
18

Análise Semi-probabilista



19

Análise Semi-probabilista



20

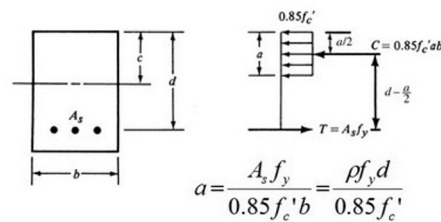
Como é considerado o efeito de cargas de longa duração em normas internacionais?

PhD Engenharia

21

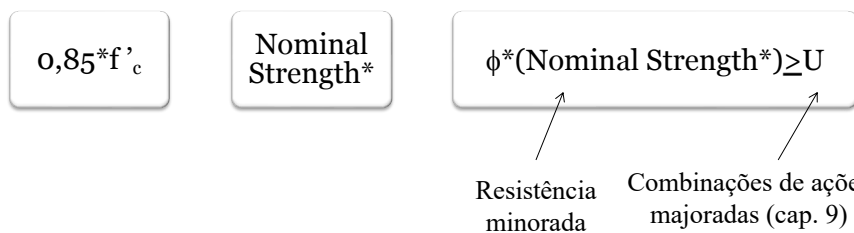
ACI 318-11

- 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: ϕ
(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_{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_{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)

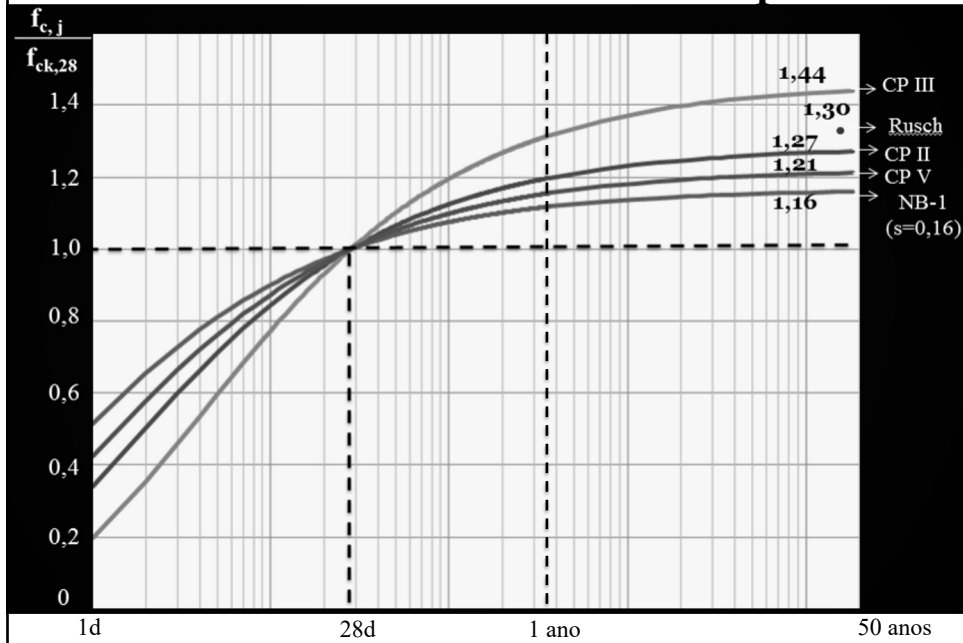
$$\beta_{cc,t} = \frac{f_{cm,t_{\infty}}}{f_{cm,t}}$$

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

PhD Engenharia

29

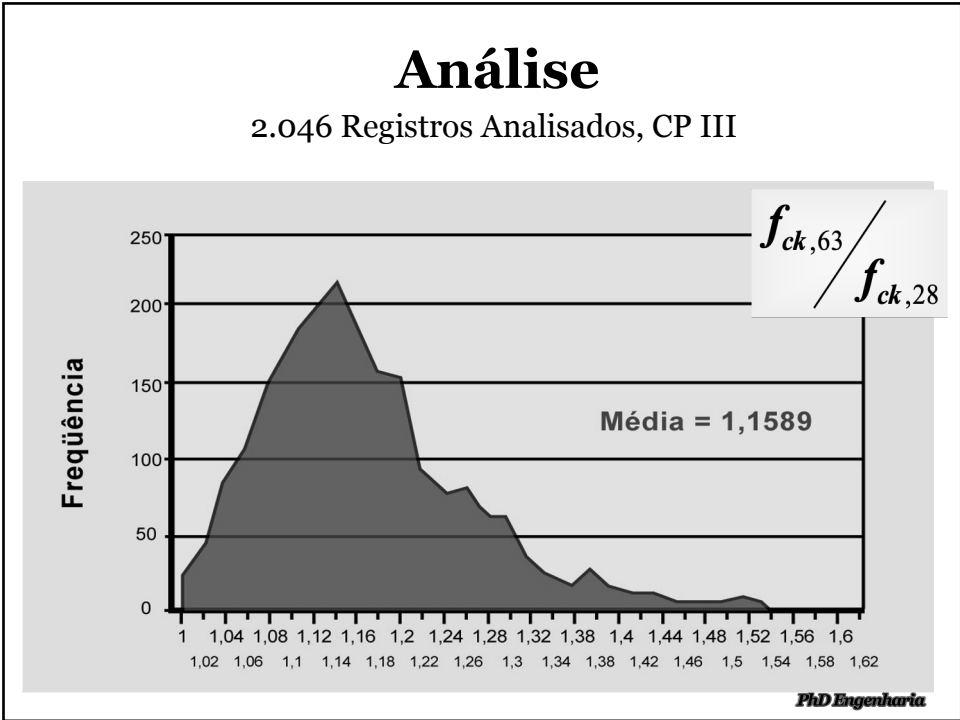
Gráfico de crescimento x tempo



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

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

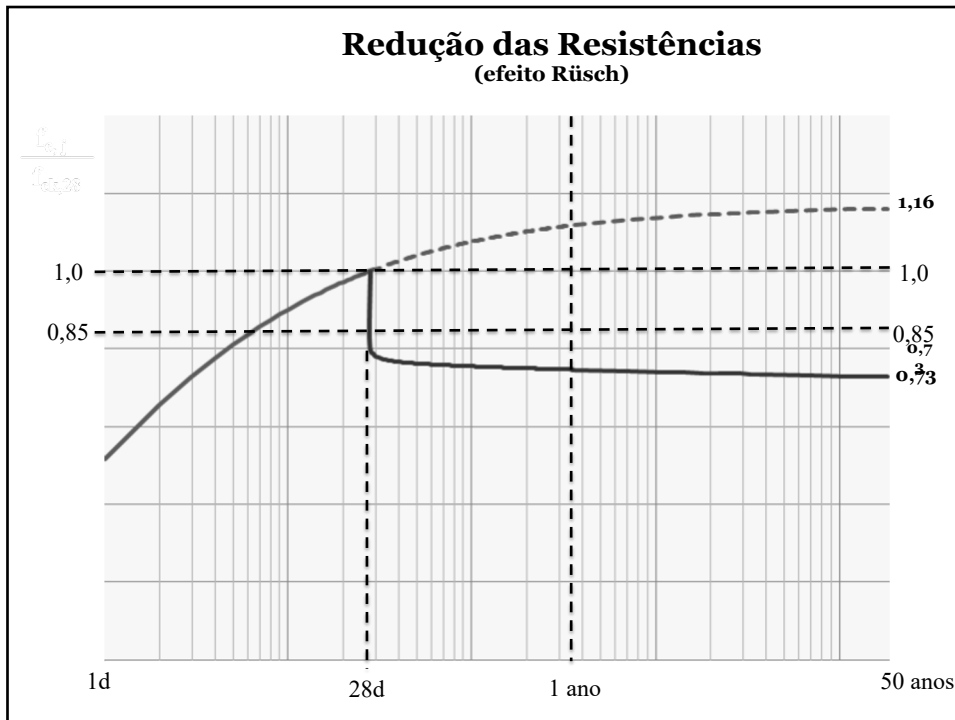
$$\frac{f_{cm,sus,18200}}{f_{cm,28}} = 0,96 - 0,12 * \sqrt[4]{\ln\{72 * (50 * 364 - 28)\}}$$

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

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

PhD Engenharia

36



37

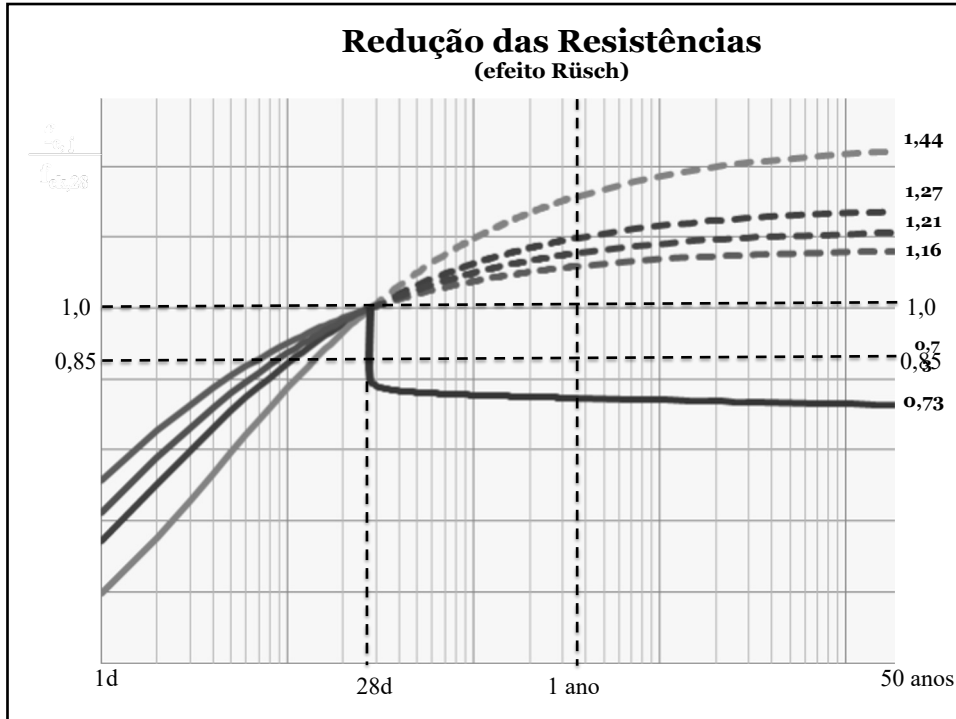
$\beta_{c,sus,t}$ = decréscimo de f_c devido às cargas de longa duração, aplicadas na idade $t_0 = q$ (em 50 anos)

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

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

PhD Engenharia

38



39

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

resistência do concreto com o tempo ?

PhD Engenharia

40

Resistência

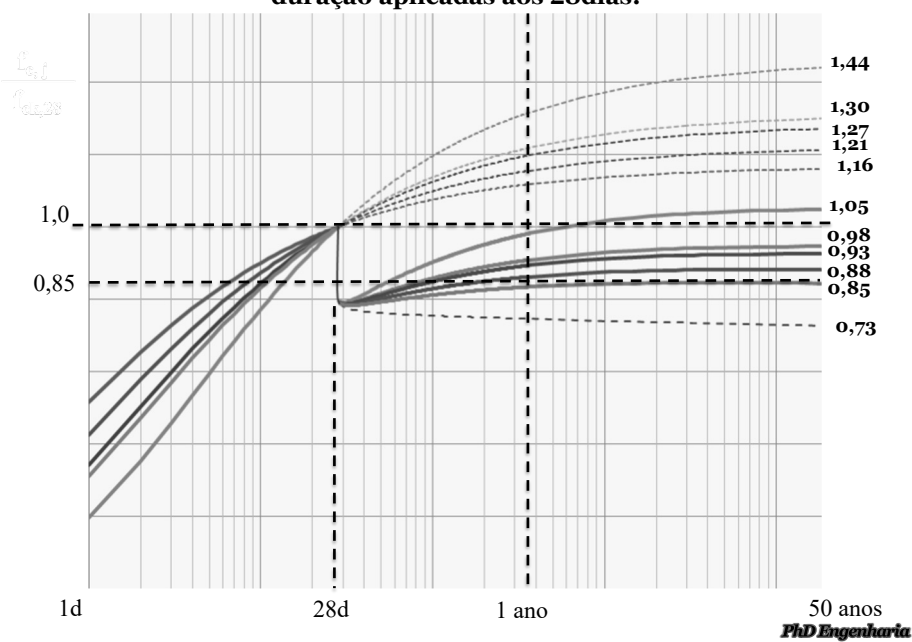
Resistência final do concreto a **50 anos** de idade para cargas de longa duração aplicadas aos 28 dias:

		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

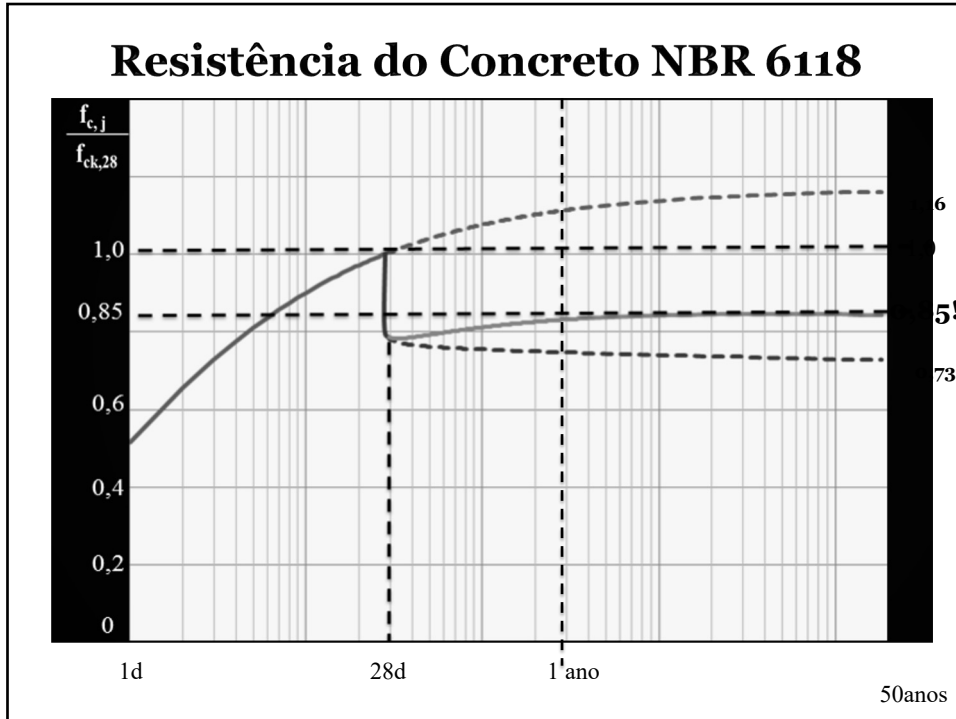
41

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

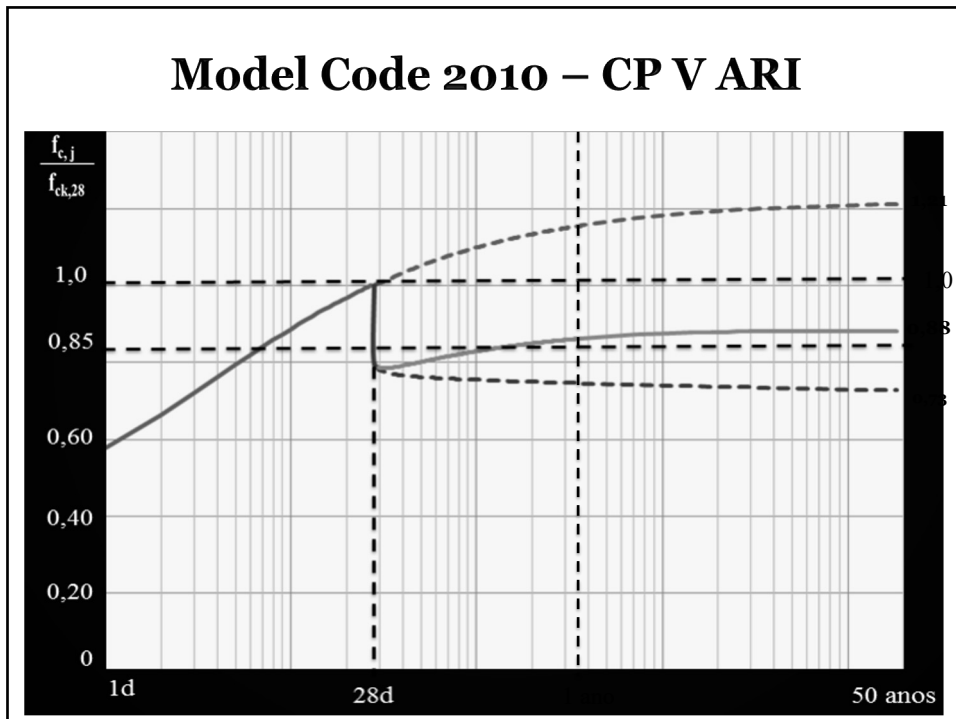


PhD Engenharia

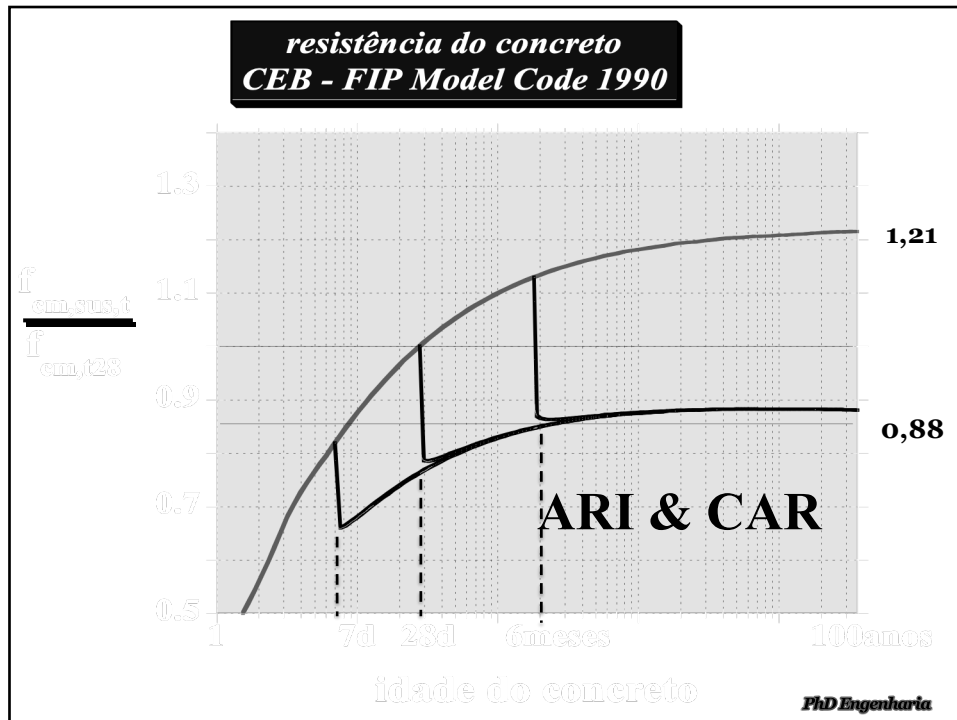
42



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?

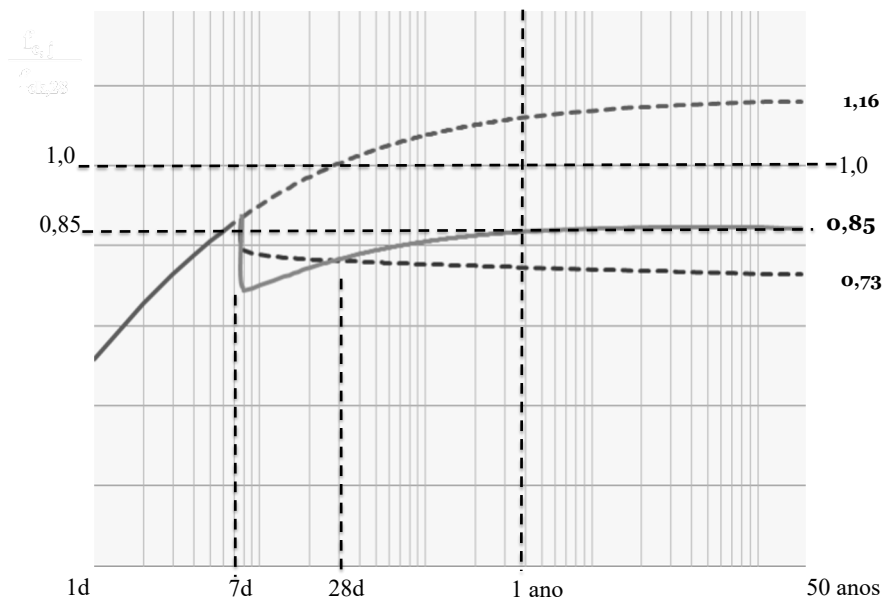
Concreto Normal, $s=0,16$ e $B_{cc,50anos} = 1,16$

Δt 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

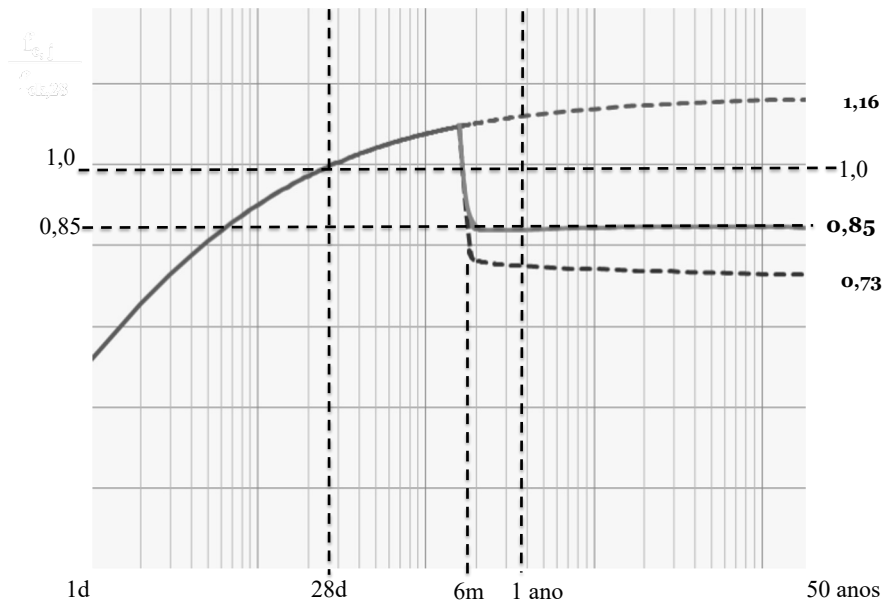
47

Resistência do Concreto “carregado” a 7dias



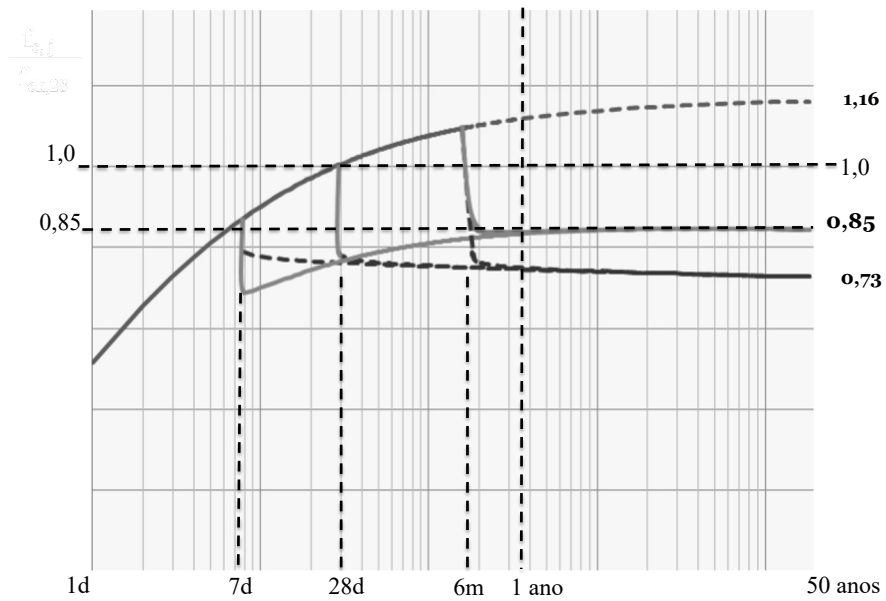
48

Resistência do Concreto “carregado” a 6 meses

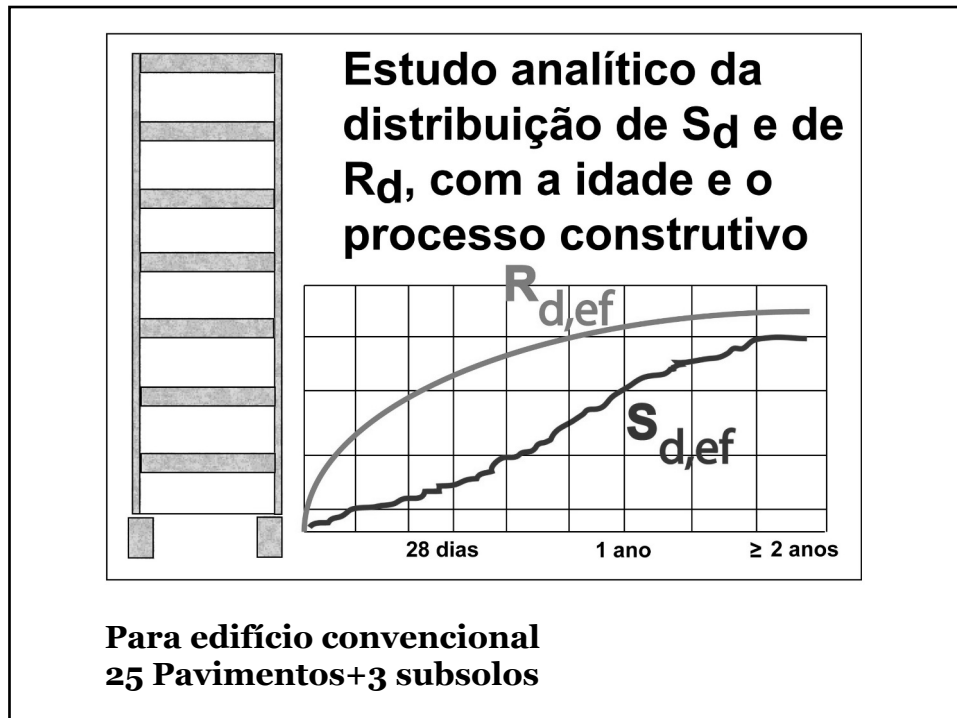


49

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

Peso próprio de 950kg/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

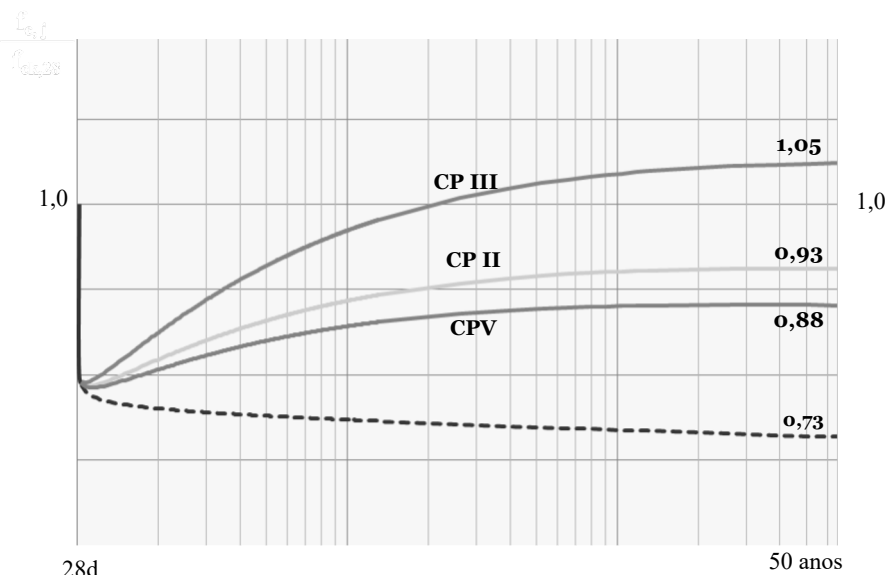
Proposta

- 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)

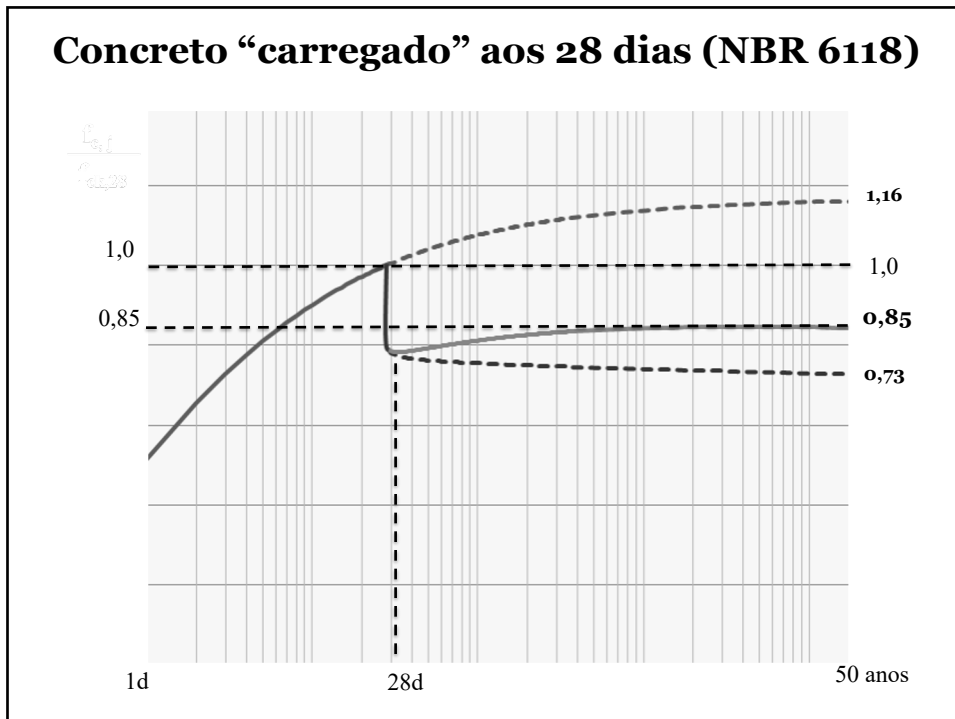


64

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

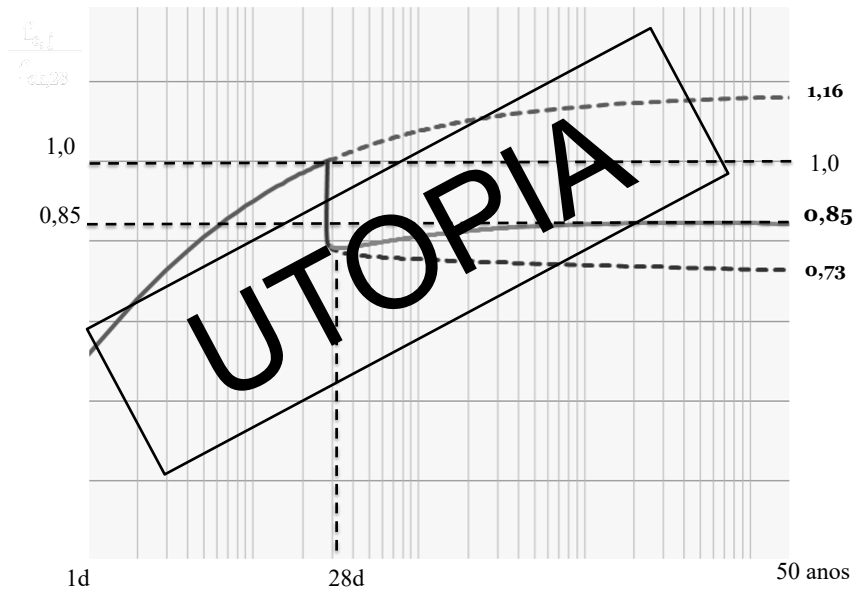
PhD Engenharia

65



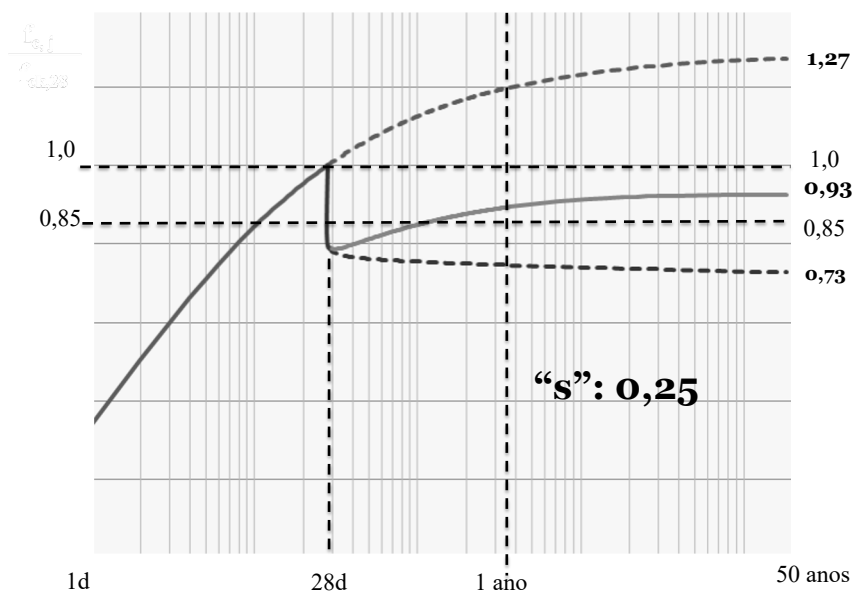
66

Concreto “carregado” aos 28 dias (NBR 6118)

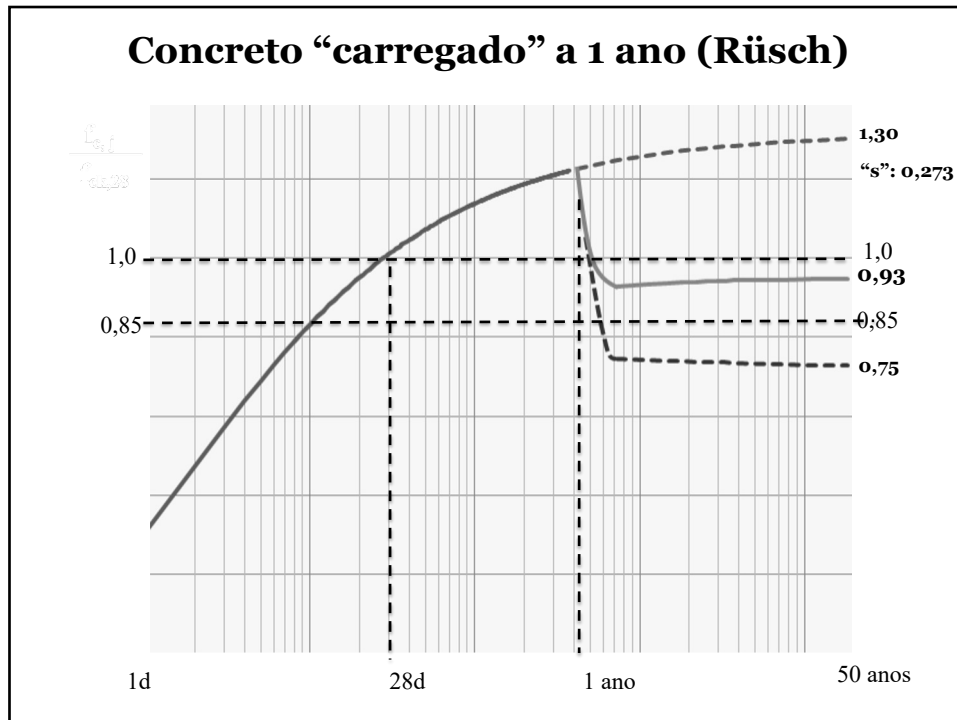


67

Concreto “carregado” aos 28 dias (REAL ?)



68



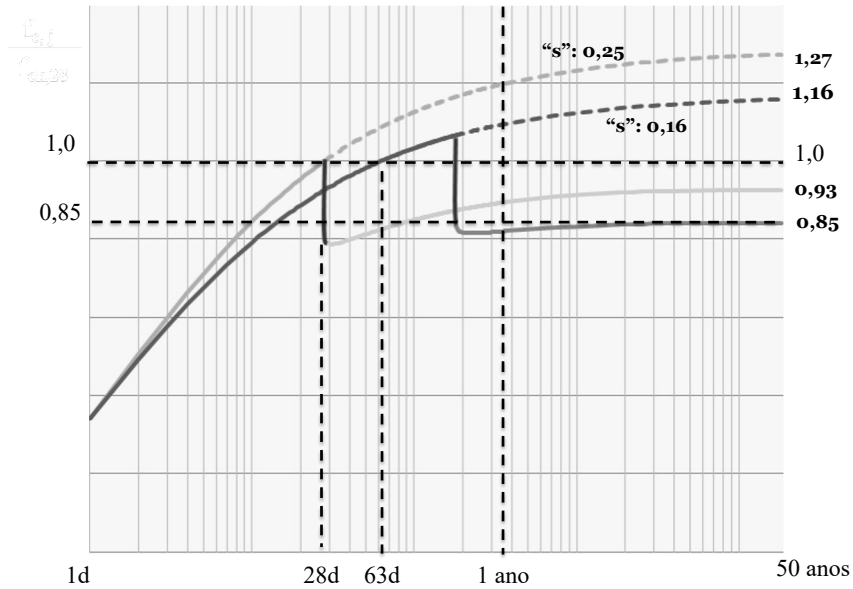
69

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)

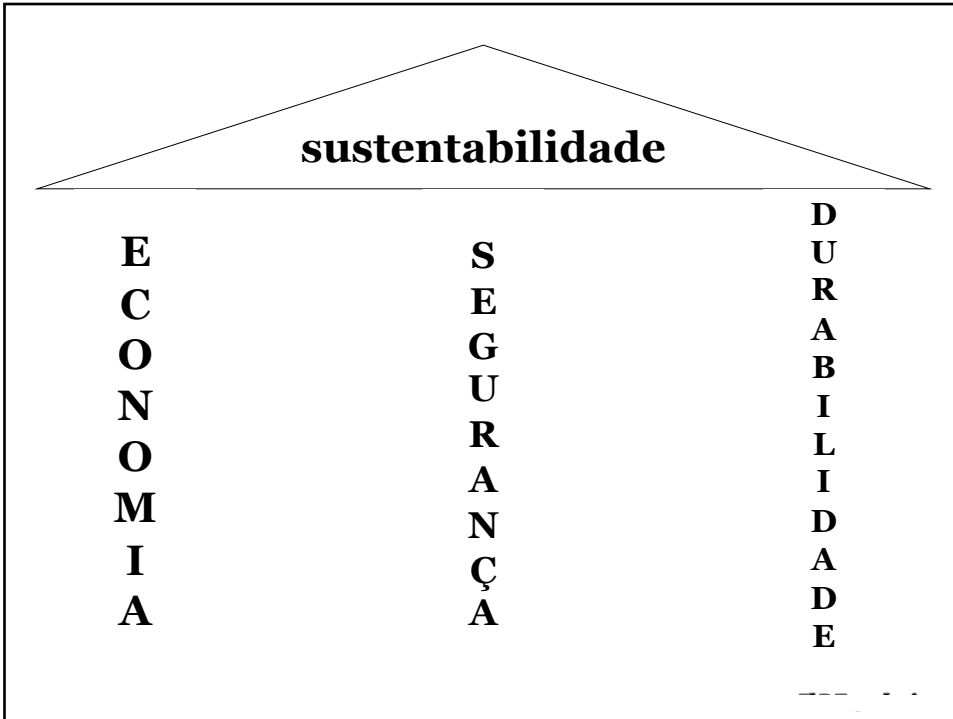


71

Δt 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



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.

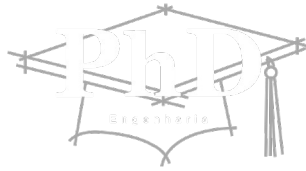
HELENE, Paulo. **Resistência do Concreto sob Carga Mantida e a Idade de estimativa da Resistência Característica** In: III Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, 1993, São Paulo. III Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto. , 1993. p.271 – 282. *(consulta free na biblioteca da PhD)*

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"

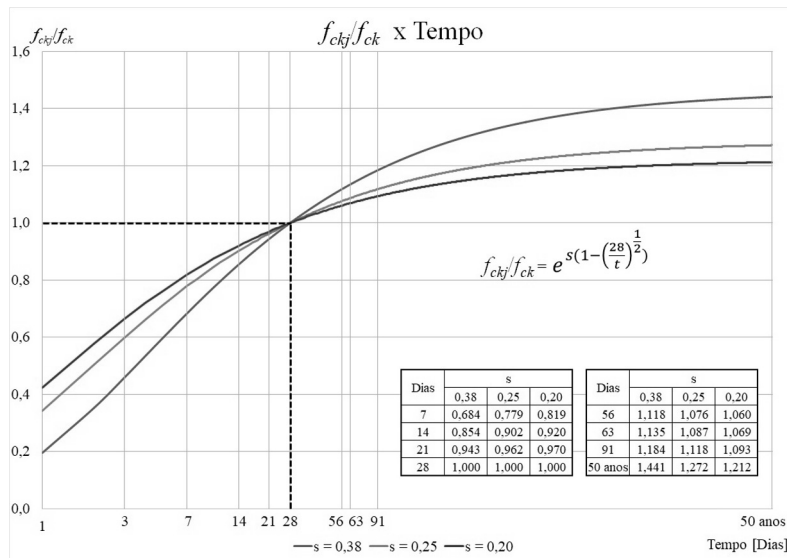
www.concretophd.com.br
www.phd.eng.br

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

PhD Engenharia

77

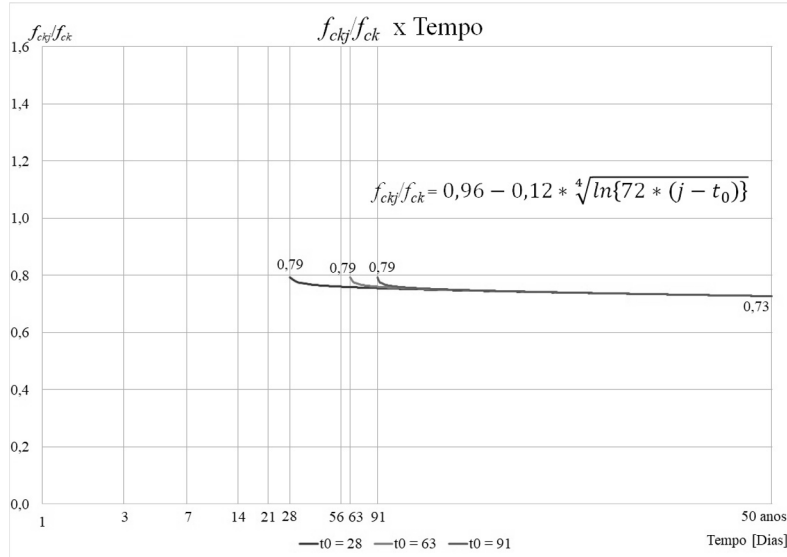
Resistência de Cálculo do Concreto NBR 6118:2014



PhD Engenharia

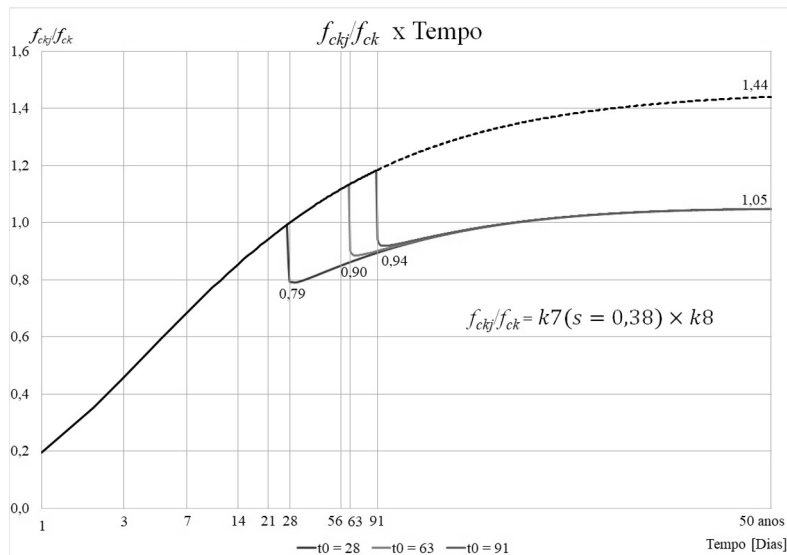
78

Resistência de Cálculo do Concreto NBR 6118:2014



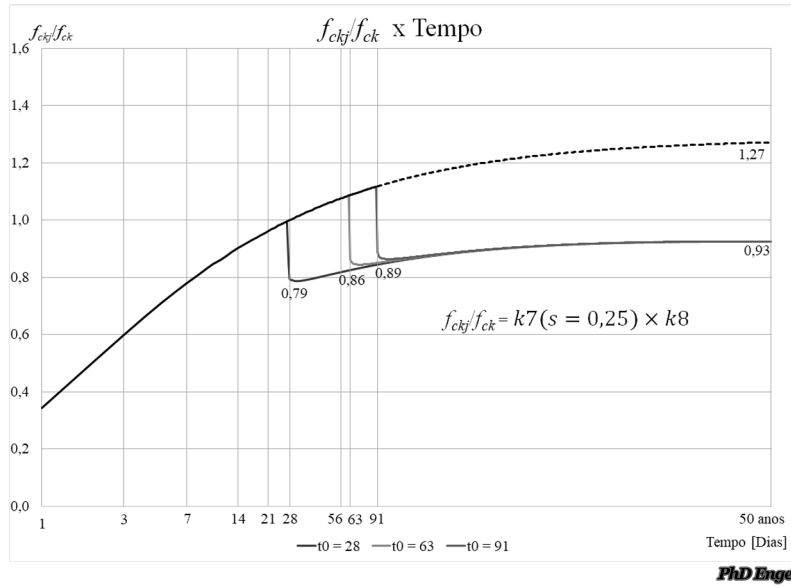
79

Resistência de Cálculo do Concreto NBR 6118:2014



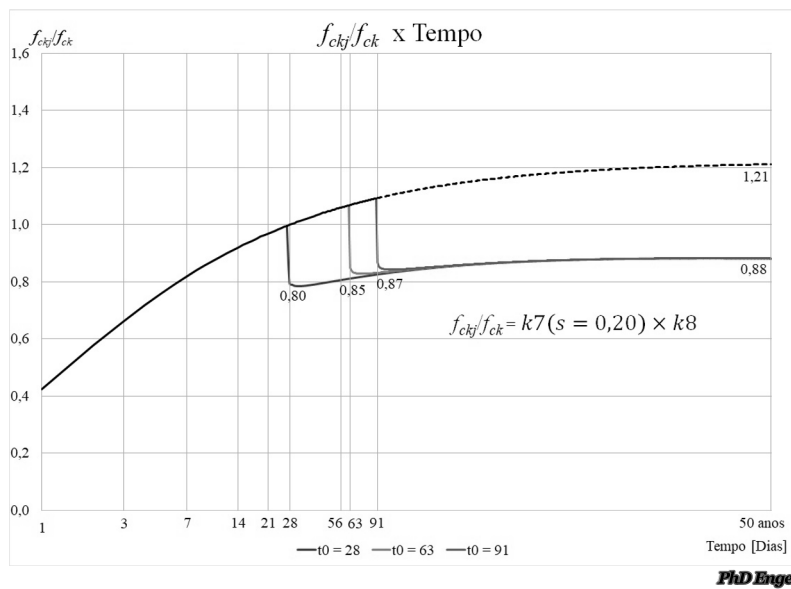
80

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