



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP  
Programa de Educação Continuada – PECE  
Curso de Especialização em Gestão de Projetos de Sistemas  
Estruturais – Edificações  
**GES-017 – Patologia, Recuperação e Reparo de Estruturas de Concreto**

## Resistência do Concreto em Estruturas Existentes



**Paulo Helene**  
*Diretor PhD Engenharia  
Prof. Titular Universidade de São Paulo  
Diretor e Conselheiro Permanente IBRACON  
Presidente Honorífico ALCONPAT Internacional  
Member fib(CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures*

Escola Politécnica

21 de fevereiro de 2018

São Paulo SP

1

**C&C1:**

**ABNT NBR 7680:2015**  $f_{ck,ext,j}$

**ABNT NBR 6118:2014**  $f_{ck}$

**ABNT NBR 12655:2015**  $f_{ck,est}$

**referencial de segurança**  
 $f_{ck}$

2

**Brasil: ABNT NBR 12655:2015**

***Concreto de cimento Portland. Preparo, controle, recebimento e aceitação***

**Europa: Eurocode II**

***EN 206-1:2013 Concrete: Specification, performance, production and conformity***

**USA: ACI 318-14**

**Building Code Requirements for Structural Concrete**

***Chapter 26. Construction Documents and Inspection.***

***item 26.12. Concrete evaluation and acceptance***

3

**Escopo:** *estabelece os requisitos para*

- 1. Controle** de materiais, dosagem e produção do concreto;
- 2. Segurança:** controle da resistência do concreto à compressão;
- 3. Durabilidade e vida útil:** teor máximo de agressivos, a/c,  $D_{máx}$ , consumo, cobrimentos;
- 4. Controle de recebimento:** concreto fresco;
- 5. Controle e critério de aceitação:** concreto fresco e endurecido;
- 6. Não conformidade da resistência (segurança):** ABNT NBR 7680:2015

4

## Condições de preparo do concreto

Condição de preparo	Classe do concreto	Cimento	Agregados	Água	Correção da água em função da umidade dos agregados
A	todas	massa	massa	massa ou volume	sim
B	C10 a C20	massa	volume	volume	sim
C	C10 e C15	massa	volume	volume	estimada

5

**C&C2:**

**Universo  
População  
Lote**

**amostra**

**unidade de produto  
unidade de controle**

**exemplares**

**corpo de prova**

6

**Unidade de Produto**  
**Unidade de Controle**

**Pneu**



- **massa de cada pneu**
- **pressão de cada pneu**

7

**Unidade de Produto**  
**Unidade de Controle**

**Bolinha de gude**



- **massa de cada bolinha**
- **diâmetro de cada bolinha**

8



**Unidade de Produto  
Unidade de Controle  
Concreto**



- metro cúbico
- corpo de prova
- metro quadrado
- pilar, viga, laje

9

**CONCRETO  
Unidade de Produto**

**betonada  
amassada  
mistura-traço**

**CONCRETO  
Unidade de Controle**

**resistência à compressão do cp  
MPa, kgf/cm<sup>2</sup>, psi  
exemplar**

10

## **Amostragem ABNT NBR 12655**

- ✓ **As amostras são compostas por exemplares;**
- ✓ **Cada exemplar constitui-se de, no mínimo, dois CPs irmãos (mesma amassada, moldados no mesmo ato) para cada idade de ruptura;**
- ✓ **Resistência do exemplar (betonada): o maior dos valores obtidos dos CPs no ensaio de resistência à compressão;**
- ✓ **A amostragem pode ser total ou parcial.**

11

## **Amostragem total ABNT NBR 12655**

- ✓ **Todas as betonadas são amostradas e representadas por um exemplar que define a resistência à compressão daquele concreto naquela betonada (unidade de produto):**

$$f_{ck,est} = f_{c,betonada}$$

- ✓ ***Não há o que estimar porque todo o lote (população) é conhecido.***

12

## **Conformidade dos lotes**

- ✓ **O valor estimado da resistência característica dos lotes de concreto (amostragem parcial) ou dos exemplares (amostragem total) deve atender:**

$$f_{ck,est} \geq f_{ck}$$

13

## **ACI American Concrete Institute**

**ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete**  
*Chapter 26. Construction Documents and Inspection. item 26.12.*  
*Concrete evaluation and acceptance*

- Laboratório de Controle deve ser acreditado pela norma ASTM C1077 e laboratoristas sejam certificados pelo ACI;
- CPs sejam retirados em conformidade com a ASTM 172, moldados e sazoados em conformidade com a ASTM C31 e ensaiados em conformidade com a ASTM C39;

14

## ACI American Concrete Institute

**ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete**  
*Chapter 26. Construction Documents and Inspection. item 26.12.*  
*Concrete evaluation and acceptance*

- Recomenda que a amostragem obedeça a:
  - $\geq 1$  exemplar por dia de concretagem;
  - $\geq 1$  exemplar para cada  $115\text{m}^3$  de concreto;
  - $\geq 1$  exemplar para cada  $465\text{m}^2$  de área superficial para lajes ou paredes;
  - Dispensado o controle para volumes inferiores a  $38\text{m}^3$ , desde que exista carta de traço aprovada;
  - Cada betonada fornece apenas um resultado;
  - Para representar um exemplar, obter a média de 2 corpos de prova cilíndricos de 15cm diâmetro por 30cm altura ou média de 3 corpos de prova de 10cm de diâmetro e 20cm de altura.

15

## ACI American Concrete Institute

**ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete**  
*Chapter 26. Construction Documents and Inspection. item 26.12.*  
*Concrete evaluation and acceptance*

- Como **critério de aceitação** exige:
  1. A média móvel de três resultados consecutivos cronologicamente deve ser:

$$f_{cm3,est} \geq f_{ck}$$

2. Nenhum resultado individual,  $f_{ci}$  deve ser inferior em 3,5MPa em relação ao valor característico (até  $f_{ck} = 35\text{MPa}$ );
3. Nenhum resultado individual,  $f_{ci}$  deve ser inferior a:

$$0,9 * f_{ck} \text{ para } f_{ck} > 35\text{MPa}$$

16

## **ACI American Concrete Institute**

**ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete**  
*Chapter 26. Construction Documents and Inspection, item 26.12.*  
*Concrete evaluation and acceptance*

- Como **critério de aceitação** exige:

$$f_{cm3,est} \geq f_{ck}$$

$$0,9 * f_{ck} \text{ para } f_{ck} > 35\text{MPa}$$

**41,7 42,3 36 43,5 41,5**

**41,7 42,3 39 43,5 41,5**

17

## ***fib* Model Code 2010**

No ***fib* Model Code 2010**

não **constam**

**procedimentos para controle da  
resistência do concreto, salvo rápida  
referência à ISO 22965 e à EN 206.**

18

# **Eurocode II:2004**

**Eurocode II também remete as diretrizes para controle e recebimento à *EN 206-1:2013 Concrete: Specification, performance, production and conformity.***

**Chapter 8. *Conformity Control and Conformity Criteria.***

**8.2.1 *Conformity control for compressive strength***

19

# **EN 206-1:2013**

- Além da responsabilidade pela produção do concreto, caber à Empresa de Serviços de Concretagem também é necessário aferir a conformidade do concreto no recebimento e aceitação em obra;
- Recomenda que a amostragem siga a EN 12350-1 *Testing Fresh Concrete.*

20

## EN 206-1:2013

- 8.2.1.2 Sampling and testing plan
  - O resultado do exemplar (betonada) pode ser de 1CP, ou a média de 2 ou 3 CP da mesma betonada. Caso um desses resultados individuais difira  $\pm 15\%$  dessa média, o resultado pode ser descartado
    - *Produção inicial*: corresponde à situação de início de produção de concreto até que sejam disponíveis resultados de, pelo menos, 35 exemplares;
    - *Produção contínua*: corresponde à situação na qual já são conhecidos mais de 35 resultados num período inferior a 12 meses (em geral se aplica a Centrais de Concreto).

21

## EN 206-1:2013

- 8.2.1.2 Sampling and testing plan

Table 17 — Minimum rate of sampling for assessing conformity

Production	Minimum rate of sampling		
	First 50 m <sup>3</sup> of production	Subsequent to first 50 m <sup>3</sup> of production <sup>a</sup> , the highest rate given by:	
		Concrete with production control certification	Concrete without production control certification
Initial (until at least 35 test results are obtained)	3 samples	1 per 200 m <sup>3</sup> or 1 per 3 production days <sup>d</sup>	1 per 150 m <sup>3</sup> or 1 per production day <sup>d</sup>
Continuous <sup>b</sup> (when at least 35 test results are available)	---	1 per 400 m <sup>3</sup> or 1 per 5 production days <sup>c, d</sup> or 1 per calendar month	

<sup>a</sup> Sampling shall be distributed throughout the production and should not be more than 1 sample within each 25 m<sup>3</sup>.

<sup>b</sup> Where the standard deviation of the last 15 or more test results exceeds the upper limits for  $s_n$  according to Table 19, the sampling rate shall be increased to that required for initial production for the next 35 test results.

<sup>c</sup> Or if there are more than 5 production days within 7 consecutive calendar days, once per calendar week.

<sup>d</sup> The definition of a 'production day' shall be stated in provisions valid in the place of use.

22

## EN 206-1:2013

Como critério de aceitação, 8.2.1.3

- *Conformity criteria for compressive strength*

- *Critério para resultados individuais:*

- ✓ Qualquer valor individual deve ser

$$f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \quad \text{qualquer que seja o } f_{ck}$$

- *Critério para resultados médios:*

- ✓ Produção inicial: a média de 3 resultados consecutivos deve ser

$$f_{cm3,est} \geq f_{ck} + 4 \quad \text{qualquer que seja o } f_{ck}$$

- ✓ Produção contínua: a média de, no mínimo, 15 resultados consecutivos deve ser:

$$f_{cm,15,est} \geq f_{ck} + 1,48 * \sigma \quad \text{qualquer que seja o } f_{ck}$$

23

## C&C3: Resumo

- ✓ O procedimento de controle adotado no Brasil é o mais rigoroso do mundo !
- ✓ Com amostragem total conhecemos toda a população em exame ! Mais segurança que isso impossível !
- ✓ Com amostragem parcial estamos limitados a lotes máximos de 50m<sup>3</sup> e de 100m<sup>3</sup> para os quais são exigidos 6 exemplares, o que dá uma média de moldar um exemplar a cada 8m<sup>3</sup> ou a cada 16m<sup>3</sup> e, portanto, continua muito mais rigoroso que outros países !
- ✓ Não aceitamos nenhum valor  $f_{ci}$  abaixo de  $f_{ck}$  enquanto outros países aceitam 3,5MPa, 4MPa ou mais (10%) abaixo de  $f_{ck}$

24



## Aceitação do concreto

- ✓ O concreto deve ser aceito se atendidas todas as especificações de norma e de projeto



conformidade

25

## Aceitação do concreto

- ✓ Em caso de não conformidade, consultar a ABNT NBR 7680:2015



não conformidade

26

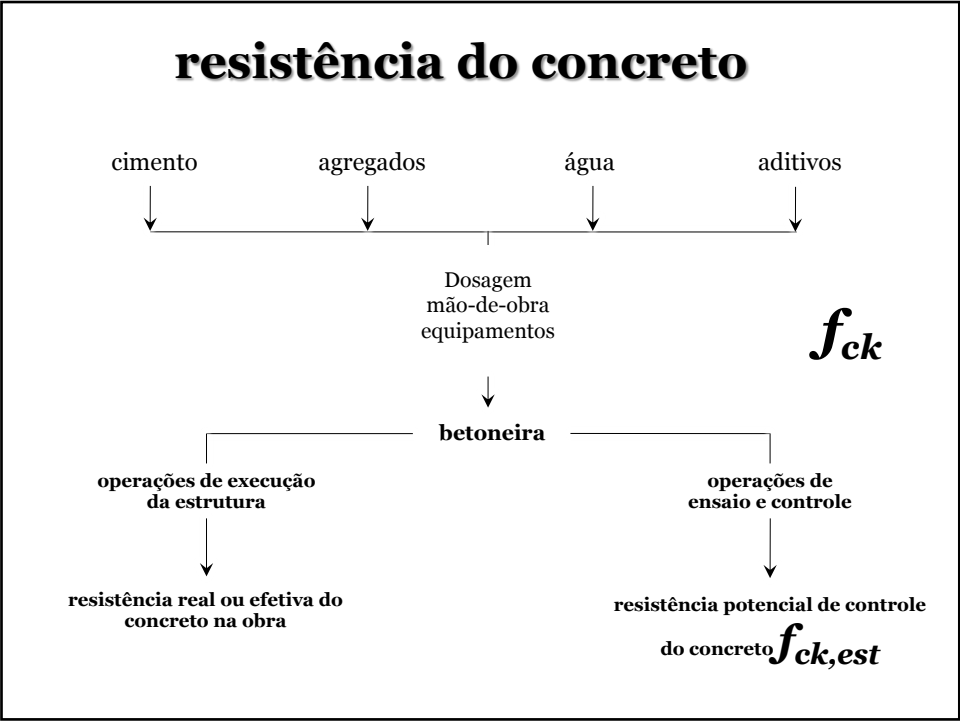


27

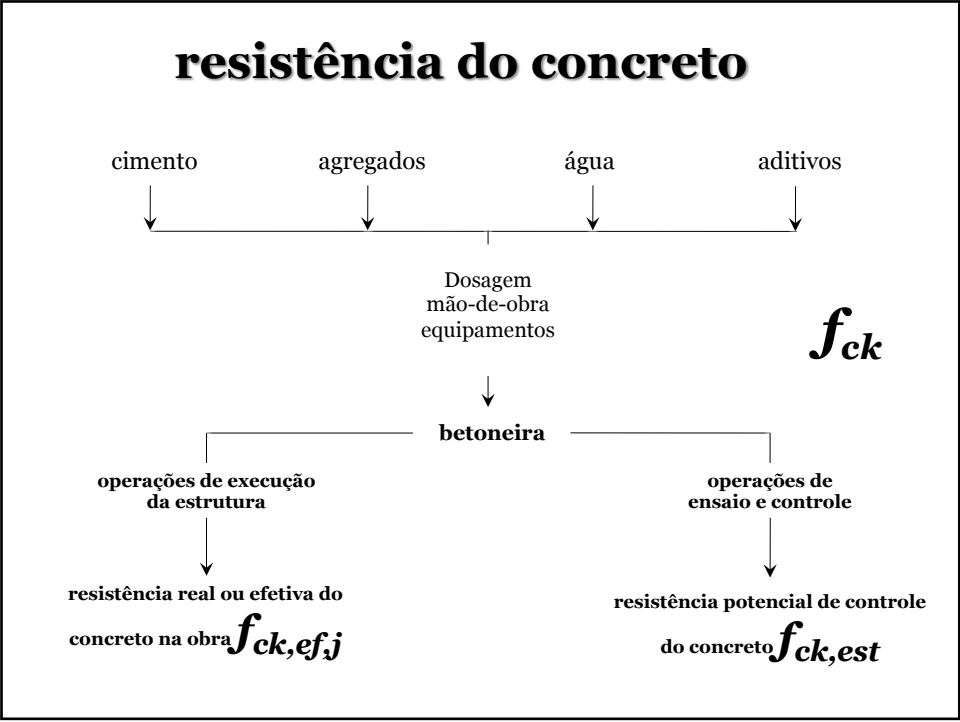


Créditos: Rafaela Bortolini

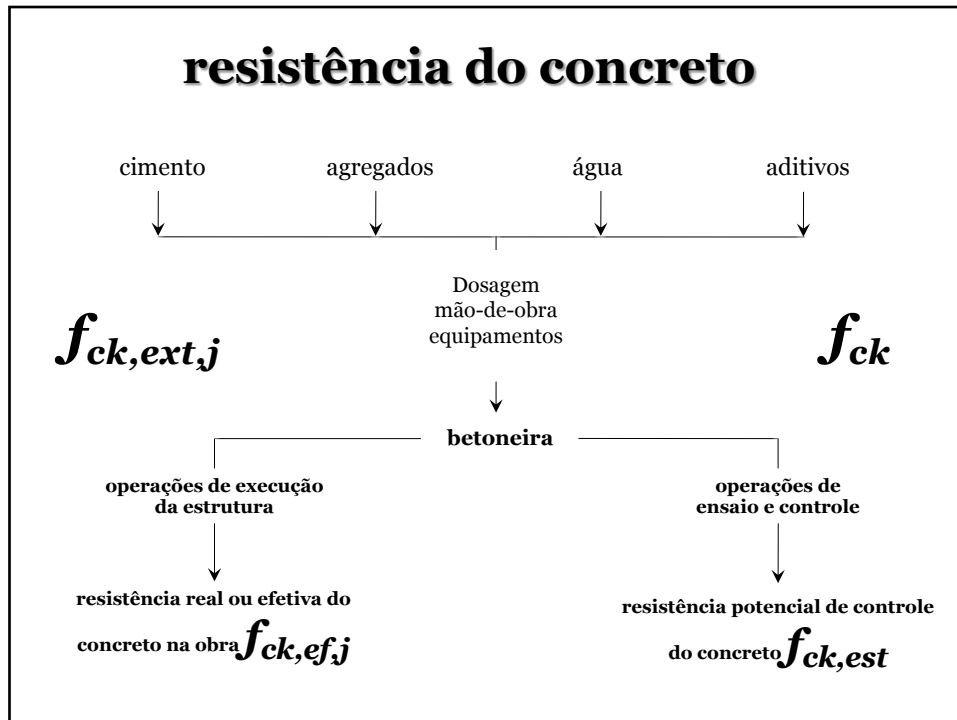
28



29



30



31

# Preliminares

## Conceitos:

→ qual o objetivo de uma investigação com extração de testemunhos?

32

# Preliminares

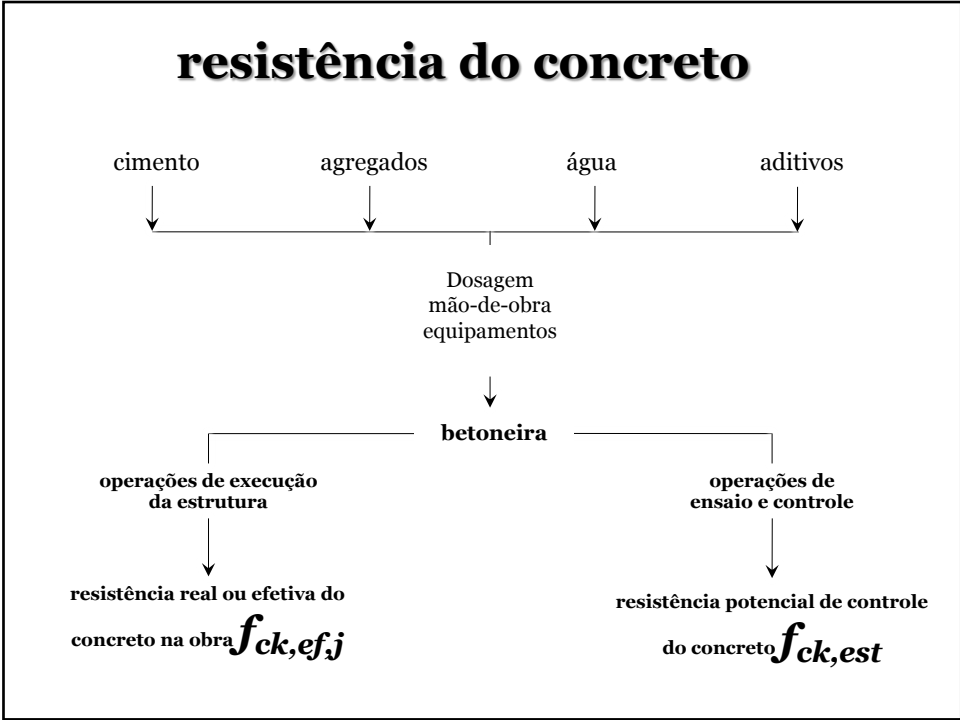
**encontrar um  $f_{ck}$  que viabilize revisar a  
segurança, ou seja, verificar a  
segurança conforme as convenções  
universais de projeto estrutural de  
ECAs**

33

# Preliminares

**encontrar aquele  $f_{ck}$  padrão convencional,  
normalizado, muito bem definido.  
O resultado de ensaio de compressão de um  
testemunho fornece apenas o  $f_{c,ext,j}$  e, portanto,  
ainda não serve para calcular, revisar, verificar  
a segurança**

34



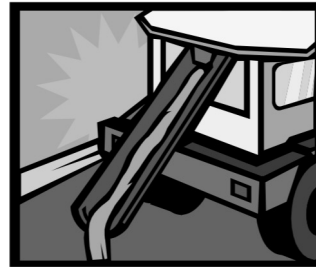
35



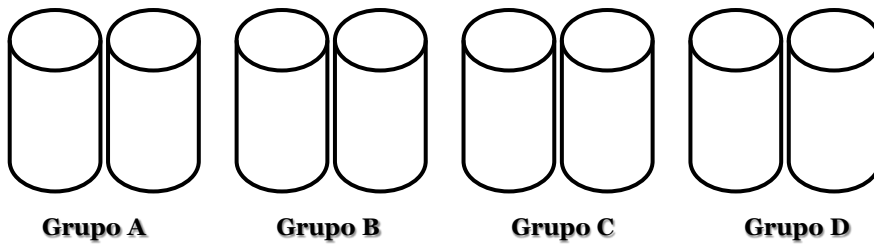
36

**C&C4: Como obter a maior resistência à compressão aos 28 dias?**

Concreto de uma betonada:  
ABNT NBR 12655:2015  
ABNT NBR 5738:2015



**Moldagem de corpos de prova cilíndricos irmãos, por grupo de pesquisadores**



37

quantas resistências tem o concreto de um caminhão betoneira?

$f_{c1}$   $f_{c2}$   $f_{c3}$   $f_{c4}$   $f_{c5}$

exemplar = mais alto ( $f_{ck}$ )

$f_{ck} = 45\text{MPa}$

**“potencial do concreto”**

38

com esse concreto foram construídos 10 pilares.  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

39

com esse concreto foram construídos 10 pilares.  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

$f_{ck}$   
**45MPa**

40



**“ninhos de concretagem”  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?**

A diagram showing ten vertical concrete columns, numbered 1 through 10 from left to right. Each column has a circular base. The circles are positioned at the bottom of the columns, and the numbers 1 through 10 are printed below each circle. The circles are empty, suggesting a space for marking or data entry.

41



42



43

“ninhos de concretagem”  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

$f_{ck}$   
**45MPa**

44

“exsudação”  
qual a resistência do concreto nesses pilares  
para fins de verificação da segurança?

$f_{ck}$   
**45MPa**

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

45

qual a resistência do concreto nos pilares que  
estão mais próximas da resistência de controle  
(moldado)  $f_{ck,est}$ ?

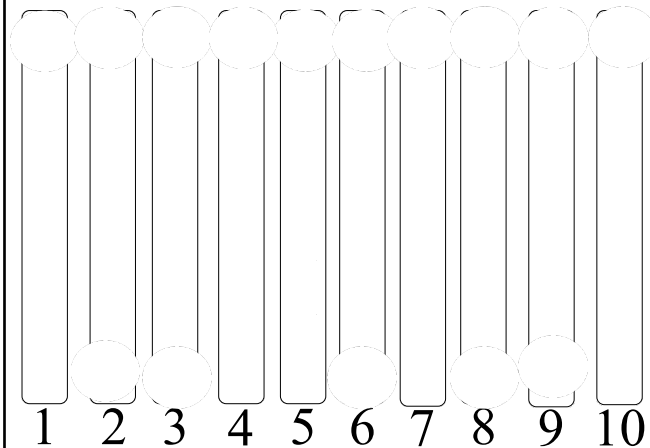
$f_{ck}$   
**45MPa**

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

46

qual a resistência do concreto nos pilares que estão mais próximas da resistência de controle

(moldado)  $f_{ck,est}$ ?

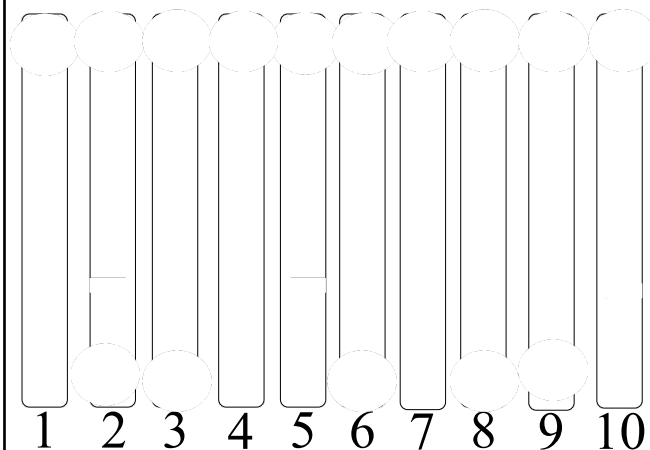


**terço inferior**

47

qual a resistência obtida de um pilar?

$f_{ck,ext}$ ?



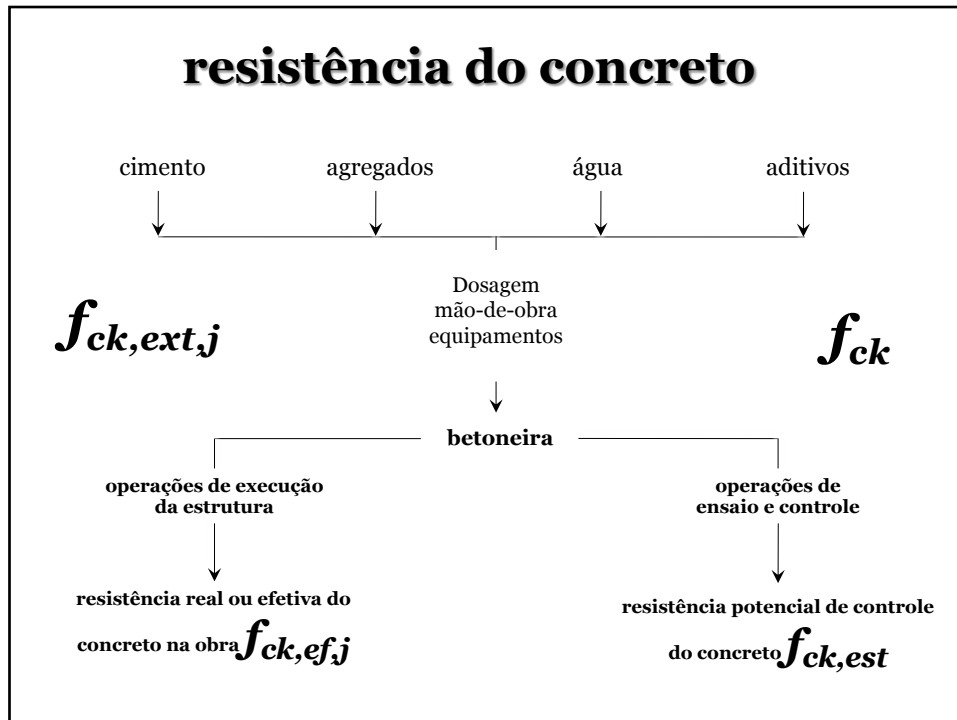
**terço inferior**

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

48



49

## Normalização Internacional

**EUROCODE II. EN 1992. Dec. 2004. Design of Concrete Structures. General Rules for Buildings. Annex A → Modification of Partial Factors for Materials based on → EN 13791 Assessment of Concrete Compressive Strength in Structures or in Structural Elements.**

**ACI 214.4R-10 Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results. 2010. 17p.**

**ACI 437R-03 Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings. 2010. 28p.**

**ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. 2015. 520p.**

50

**ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural  
Concrete and Commentary. 2015. 520p.**  
*Chapter 26. Construction Documents and Inspection.*

Item 26.12.4 Investigation of low strength-test results:

(d) Concrete in an area represented by core tests shall be considered structurally adequate if (1) and (2) are satisfied:

(1) The average of three cores is equal to at least 85 percent of  $f'_c$ .

(2) No single core is less than 75 percent of  $f'_c$ . (corresponde a  $f'_c = 1,18 * f_{core,av}$  ou  $f'_c = 1,33 * f_{core,min}$ )

*R26.12.4.1(d) An average core strength of 85 percent of the specified strength is realistic. It is not realistic, however, to expect the average core strength to be equal to  $f'_c$ , because of differences in the size of specimens, conditions of obtaining specimens, degree of consolidation, and curing conditions....*

(f) If criteria for evaluating structural adequacy based on core strength results are not met, and if the structural adequacy remains in doubt, the responsible authority shall be permitted to order a strength evaluation in accordance with Chapter 27 for the questionable portion of the structure or take other appropriate action.

51

**ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural  
Concrete and Commentary. 2015. 520p.**  
*Chapter 26. Construction Documents and Inspection.*

27.3.1.4 The method for obtaining and testing cores shall be in accordance with ASTM C42.

27.3.2.1 ...it is permitted to increase  $\phi$  from the design values elsewhere in this Code; however,  $\phi$  shall not exceed the limits in Table 27.3.2.1.

Fatores de redução das resistências ( $1/\phi$ ) segundo o ACI 318:2014

sections	item 21.2.1	item 27.3.2.1	redução
tension controlled sections	1,11	1,00	10%
compression controlled sections			
members with spiral reinforcement	1,33	1,11	17%
other reinforced members	1,54	1,25	19%
shear and/or torsion	1,33	1,25	6%
bearing on concrete (engastar)	1,54	1,25	19%

52

## Resumo Normas Internacionais

Duas partes bem distintas:

1. Uma primeira relativa a ensaio, ou seja, passar de  $f_{c,ext}$  a  $f_c$  equivalente, para a qual algumas normas chegam até a recomendar explicitamente um especialista em tecnologia de concreto.

Corresponde à amostragem, extração, transporte dos testemunhos, preparação dos topos, sazonalidade, ensaio de ruptura e correção do resultado para obter

$$f_c = k * f_{c,ext}$$

53

## Resumo Normas Internacionais

2. Uma segunda relativa à verificação da segurança
  - ✓ novo coeficiente de minoração da resistência do concreto,
  - ✓ novo coeficiente  $\beta$  de confiabilidade

Em todos os casos, é recomendado aceitar coeficientes  $\gamma_M$  de minoração da resistência dos materiais ou  $\beta$  de confiabilidade, inferiores aos utilizados normalmente no projeto (verificação) da segurança em estruturas novas.

54

## **TESE de DOUTORADO**

*CREMONINI, R. A. Análise de Estruturas Acabadas: Contribuição para a Determinação da Relação entre as Resistências Potencial e Efetiva do Concreto. São Paulo, EPUSP, 1994.*

**Ruy Alberto Cremonini. Prof. Associado, UFRGS**

55

### ***OBJETIVO***

- Comparação entre a resistência potencial e efetiva do concreto em obras convencionais de edificação em execução. Contribuição ao estudo do  $\gamma_c$ .
- **Resistência potencial** = corpos de prova cilíndricos moldados ABNT NBR 5738 / 5739 (28dias) 10cm x 20cm
- **Resistência efetiva** = testemunhos cilíndricos extraídos conforme ABNT NBR 7680 / 5739 (28dias) 10cm x 20cm

56



## **EXPERIMENTO**

- 10 obras correntes de edifícios habitacionais em fase de execução das estruturas de concreto.  
Resistência à compressão  $20\text{MPa} < f_{ck} < 35\text{MPa}$ .
- **Pilares**
  - 06 obras → concreto produzido na obra (500L)
  - 17 lotes → 17 andares
  - volume total de concreto  $129\text{ m}^3$
  - média de 6 cps moldados por lote → 28dias
  - média de 6 cps extraídos por lote → 28dias
  - extração no terço inferior (arranque)
  - 102 cps → 102 testemunhos

57

## **RESULTADOS**    $f_c/f_{c,ext} \approx f_{ck}/f_{ck,ext}$

estatística	<b>pilares</b>	<b>lajes e (vigas)</b>
mínimo	<b>1.05</b>	<b>0.96</b>
máximo	<b>1.51</b>	<b>1.62</b>
média	<b>1.24</b>	<b>1.20</b>
<b><math>S_c</math></b>	<b>0.14</b>	<b>0.19</b>
<b><math>v_c</math></b>	<b>11%</b>	<b>16%</b>
	$\Phi_{\text{moldado}} \approx \Phi_{\text{extraído}}$	$\Phi_{\text{moldado}} > \Phi_{\text{extraído}}$
	<b>h/d=2</b>	<b>h/d≠2</b>
	<b>cp<sub>ext</sub> ortogonal lanç.</b>	<b>cp<sub>ext</sub> paralelo lanç.</b>

58

## Conclusões

pilares:

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.24$$

lajes & (vigas)

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.20$$

59

## fib Model Code 2010

Tabela 1.1 Coeficientes de minoração da resistência do concreto utilizados no cálculo de novas estruturas.

Fator	ACI 318 (1/φ)			ABNT NBR 6118 (Fusco [03])	fib Model Code 2010
	tension	compression	Shear and Torsion	Caso Geral	Caso Geral
$\gamma_c$	1,1	1,33 & 1,54	1,33	1,4	1,5
$\gamma_{c1}$ ou $\gamma_c$		-		1,2	1,39
$\gamma_{c2}$ ou $\gamma_{Rd1,c}$		-		1,08	1,05
$\gamma_{c3}$ ou $\gamma_{Rd2,c}$		-		1,08	1,05

Douglas COUTO; Mariana CARVALHO; André CINTRA & Paulo HELENE. Contribuição à Análise da Segurança em Estruturas de Concreto Existentes – Aspectos Normativos. Lisboa: CONPAT 2015, Setembro de 2015. 8p.

60

## **TESE de DOUTORADO**

*VIEIRA Filho, J. O. Avaliação da Resistência à Compressão do Concreto através de Testemunhos Extraídos: Contribuição à Estimativa do Coeficiente de Correção devido aos Efeitos do Broqueamento. São Paulo, EPUSP, 2007.*

***José Orlando Vieira Filho. Prof. Titular UNICAP***

61

### **OBJETIVO**

- Comparação entre a resistência potencial e a efetiva do concreto em paredes/blocos moldados especificamente para esse propósito (lab.). Contribuição ao estudo do efeito deletério de “**broqueamento**”.
- **Resistência potencial** → 480 corpos de prova cilíndricos moldados ABNT NBR 5738 / 5739 (28dias) 10cm x 20cm & 15cm x 30cm
- **Resistência efetiva** → 930 testemunhos cilíndricos extraídos conforme ABNT NBR 7680 / 5739 (28dias) 15cm x 30cm; 10cm x 20cm; 7.5cm x 15cm; 5cm x 10cm e 2.5cm x 5cm

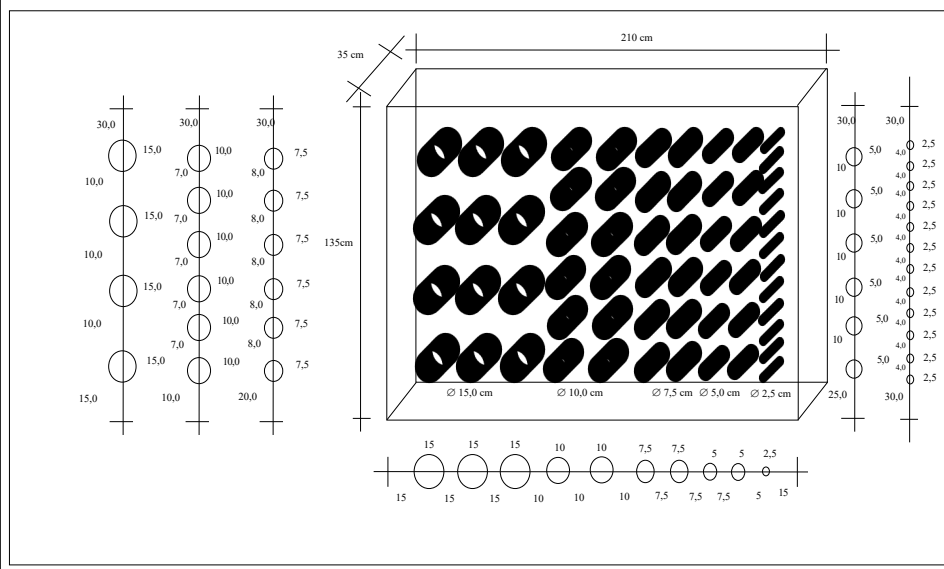
62

## EXPERIMENTO

- 56 blocos/paredes de espessura de 35cm x 2.10m altura x 1.45 m construídos no canteiro de uma Central de concreto e em subsolo de obra. Situação ideal!
- Resistências à compressão de: 20MPa; 40MPa; 50MPa e 70MPa.
- Consistência / slump = (100±10)mm;
- Idade de 28dias;
- Direção de extração ortogonal à concretagem.

63

## BLOCO TIPO (210x135x35)cm



64



65



66



**Parede/bloco perfurada**

67

## Conclusões

1. os valores de  $f_c/f_{c,ext} \approx f_{ck}/f_{ck,ext}$  entre 1,01 e 1,40 corresponderam a 100% dos resultados obtidos

2. Média geral:

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.07$$

3. os testemunhos de diâmetro 5cm e 2.5cm tendem a uma maior variabilidade. Refletem melhor quando  $f_c$  é igual ou superior a 50MPa.

4. vale a pena consultar as demais conclusões...

68

## Problema

Qual o  $f_{ck}$  a ser adotado para revisão da segurança estrutural, uma vez conhecido o  $f_{c,ext,j}$  a qualquer idade  $j$ ?

69

## Problema (ABNT NBR 7680:32015)

$$f_{ck,est,j} = [1 + (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)] * k_5 * k_6 * f_{c,ext,j}$$

$f_{ck,est,j}$  = resistência à compressão característica do concreto equivalente à obtida de corpos de prova moldados, a  $j$  dias de idade;

70

## ***Coeficientes de correção*** ***ABNT NBR 7680:2015***

$k_1$  = correção devida à geometria do testemunho cilíndrico, ou seja, devida à relação h/d → varia de 0,00 a -0,14;

$k_2$  = correção devida ao efeito de broqueamento em função do diâmetro do testemunho → varia de 0,12 a 0,04;

$k_3$  = correção em função da direção da extração em relação ao lançamento do concreto → varia de 0 a 0,05;

$k_4$  = correção em função da umidade do testemunho → varia de 0 a -0,04.

***adensamento e cura***

71

## ***Cálculos ABNT NBR 7680:2015***

$$f_{ck,est,j} = 1,17 \text{ a } 0,86 * k_5 * k_6 * f_{c,ext,j}$$

$f_{ck,est,j}$  = resistência à compressão característica do concreto equivalente à obtida de corpos de prova moldados, a  $j$  dias de idade;

72



**Estaria assim cumprida a primeira parte, ou seja, transformar  $f_{c,ext,j}$  em  $f_{ck}$ ?**

*SIM*

*NÃO*

*verificar a  
segurança com o  
novo  $f_{ck}$*

*voltar a 28dias !*

*ACI, Eurocode*

*verificar a  
segurança com o  
novo  $f_{ck}$*

*ABNT NBR  
6118:2014*

*ABNT NBR  
6118:2014*

73

***ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. 2015. 520p.  
Chapter 26. Construction Documents and Inspection.***

***R26.12.4.1(d) An average core strength of 85 percent***

*...  
ation, and curing conditions. The acceptance criteria for core strengths have been established with consideration that cores for investigating low strength-test results will typically be extracted at an age later than specified for  $f'_c$ . For the purpose of satisfying 26.12.4.1(d), this Code does not intend that core strengths be adjusted for the age of the cores.*

74

### **Comentários nas Comunidades TQS e Bahia:**

1. Crescimento vale para CP relaxado na câmara úmida, sem carga, temperatura ideal de 23°C, UR de 100%;
2. Crescimento depende muito do tipo de cimento e das adições;
3. Crescimento depende muito da relação a/c;
4. Crescimento depende da cura, do adensamento, da temperatura, da UR, do sazonalamento, ...

75

### **Estará assim cumprida a primeira parte, ou seja, transformar $f_{c,ext,j}$ em $f_{ck}$ ?**

*SIM*

*NÃO*

*verificar a  
segurança com o  
novo  $f_{ck}$*

*voltar a 28 dias !*

*ACI, Eurocode*

*verificar a  
segurança com o  
novo  $f_{ck}$*

*ABNT NBR  
6118:2014*

*ABNT NBR  
6118:2014*

76



## Exemplo

$$f_{ck} = 25\text{MPa}$$

Extração:  $f_{cm} = 17,7\text{MPa}$ ;  $s_c = 1,8\text{MPa}$ ;  $v_c = 10,2\%$

n	1	2	3	4	...
$f_{c,ext,j}$	15,4	15,4	17,6	18,1	...

77

## Exemplo

*aplicando primeiro os coeficientes de ensaio e depois os de segurança*

ACI 318	ACI 214.4R	ACI 214.4R	ACI 562	ABNT NBR 7680 & 6118	EN 1992 Eurocode II	EN 1992 Eurocode II
	Tolerance Factor Method	Alternative Method			A.2.2(2) $\gamma_{c,Red3} = 1,35$	A.2.3(1) $\gamma_{c,Red4} = 1,19$
<b>20,4</b>	<b>19,4</b>	<b>19,4</b>	<b>21,0</b>	<b>19,7</b>	<b>19,3</b>	<b>22,7</b>

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

78

**Estaria assim cumprida a primeira parte, ou seja, transformar  $f_{c,ext,j}$  em  $f_{ck}$ ?**

*SIM*

*NÃO*

*verificar a segurança com o novo  $f_{ck}$*

*voltar a 28 dias !*

*ACI, Eurocode*

*verificar a segurança com o novo  $f_{ck}$*

*ABNT NBR 6118:2014*

*ABNT NBR 6118:2014*

79

**NÃO Voltar a 28 dias !**

$$f_{ck,j} = f_{ck,28} * \beta_{cc,28 \rightarrow j} * \beta_{c,sus,28 \rightarrow j}$$

$$\beta_{cc,28 \rightarrow j} = e^{\left\{ s \left[ 1 - \sqrt{\frac{28}{j}} \right] \right\}}$$

$s=0,38$  para CP III e CP IV;  $s=0,25$  para CP I e CP II; e  $s=0,20$  para CP VARI

$$\beta_{c,sus,28 \rightarrow j} = 0,96 - 0,12 \sqrt{\ln[72(j - 28)]}$$

$$\sigma_c = 0,85 * f_{ck}/\gamma_c = \beta_{cc,50anos} * \beta_{c,sus(28 \text{ a } 50anos)} * f_{ck}/\gamma_c$$

$$\sigma_c = 0,85 * f_{ck}/\gamma_c = \beta_{cc,50anos} * 0,73 * f_{ck}/\gamma_c$$

$$\sigma_c = 0,85 * f_{ck}/\gamma_c = 1,16 * 0,73 * f_{ck}/\gamma_c$$

$$\beta_{cc,28 \rightarrow j} = e^{\left\{ 0,16 \left[ 1 - \sqrt{\frac{28}{j}} \right] \right\}}$$

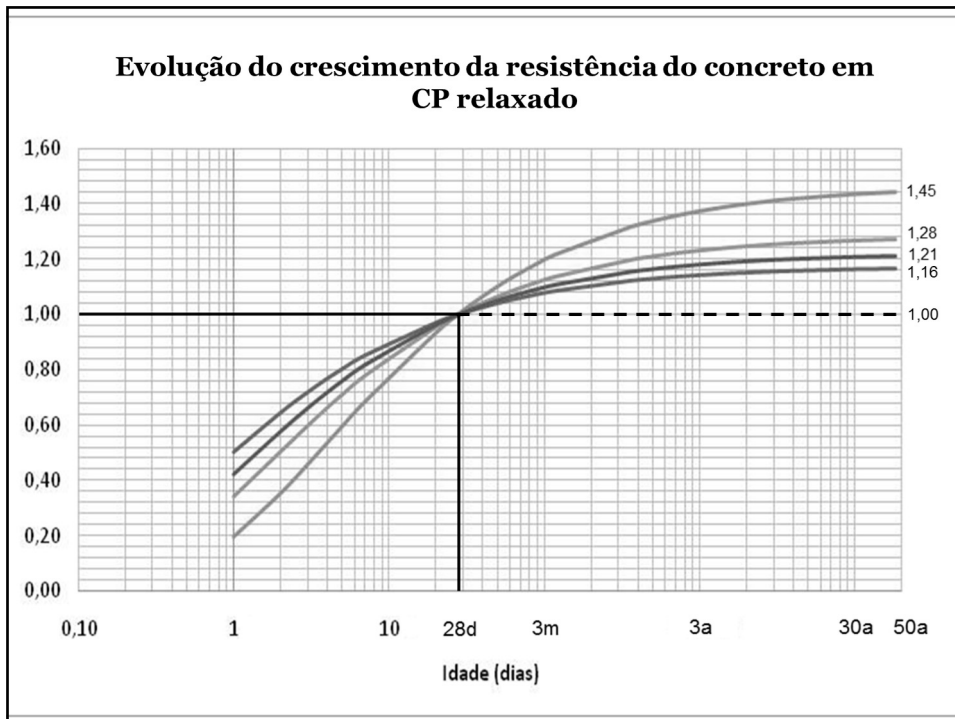
80

onde  $j$  é a idade do concreto em dias.

## Crescimento da Resistência

$$\beta_{cc,28 \rightarrow j} = \frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = e^{\left\{0,16 \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{28}{j}}\right]\right\}}$$

81



82

## Problema

$$f_{ck,est,j} = [1 + (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)] * k_5 * k_6 * f_{c,ext,j}$$

$f_{ck,est,j}$  = resistência à compressão característica do concreto equivalente à obtida de corpos de prova moldados, a  $j$  dias de idade;

83

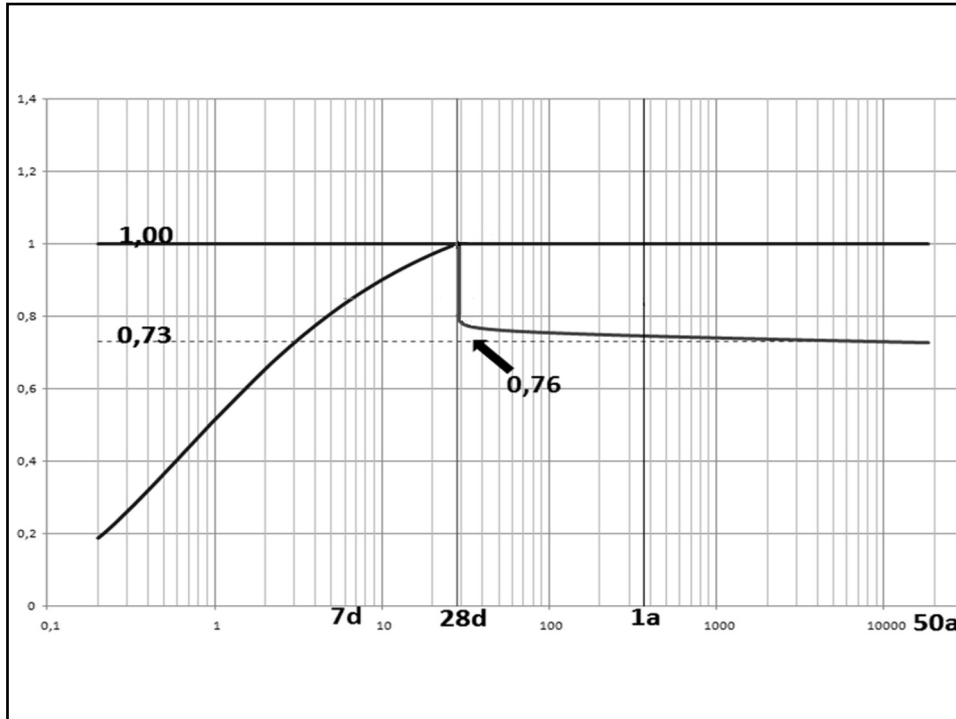
## Decréscimo da Resistência (efeito Rüsçh)

$$\beta_{c,sus,28 \rightarrow j} = \frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = 0.96 - 0.12 \sqrt[4]{\ln[72(j - 28)]}$$

→  $j$  em dias

→  $j - 28 > 15$  minutos

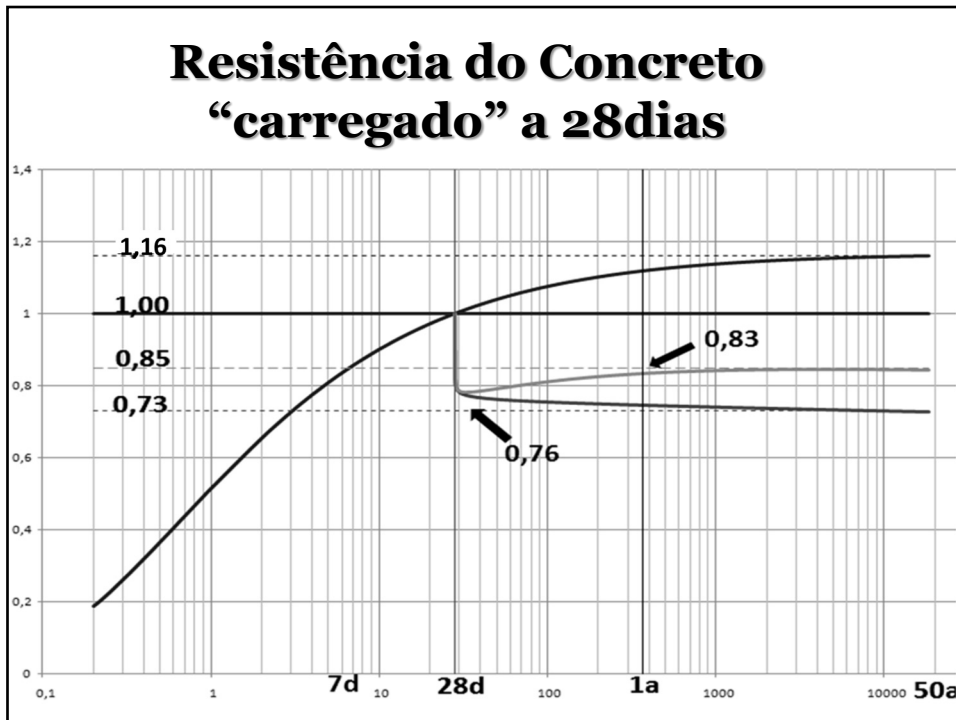
84



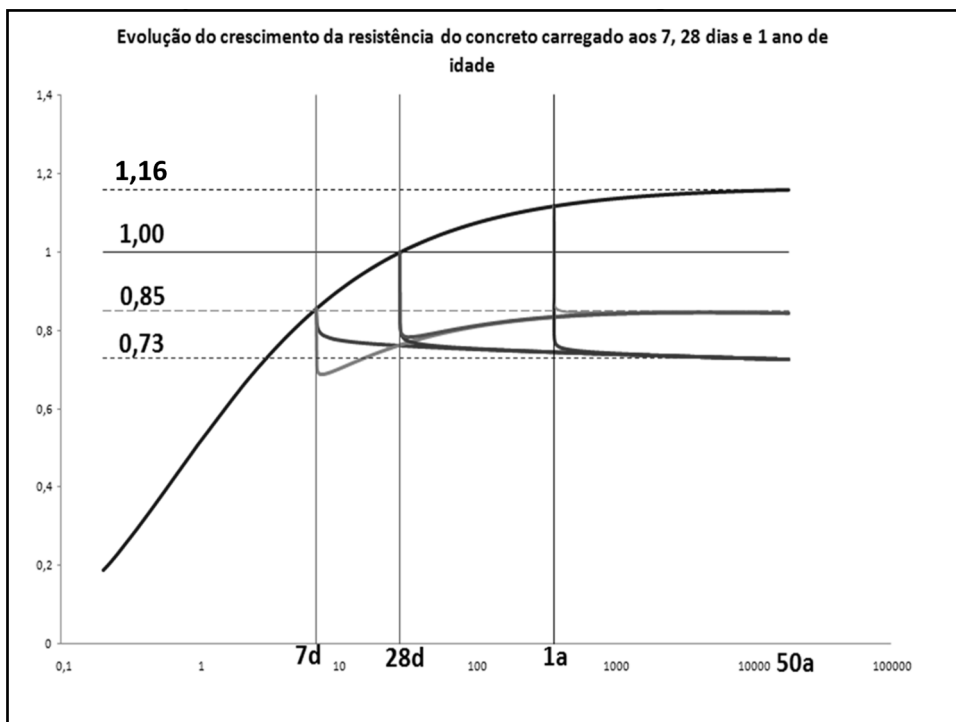
85

**Combinando crescimento  
com decréscimo a partir  
de 28dias ?**

86



87



88



## Problema

$$f_{ck,est,j} = [1 + (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)] * k_5 * k_6 * f_{c,ext,j}$$

$f_{ck,est}$  = resistência à compressão característica do concreto equivalente à obtida de corpos de prova moldados, a  $j$  dias de idade;

89

onde  $j$  é a idade do concreto em dias.

## Retorno à 28 dias

$$k_5 = \left\{ e^{0.16 \cdot \left( 1 - \sqrt{\frac{28}{j}} \right)} \right\}^{-1}$$

$$k_6 = \left\{ 0.96 - 0.12 \sqrt[4]{\ln[72(j - 28)]} \right\}^{-1}$$

90

**Conformidade do Concreto**  
**Consultores, Projetistas,**  
**Controladores, Gerenciadores,**  
**Construtores, Fiscais**

**Falta de ética**  
**Atuação venal**  
**Mezquinhez**  
**Avareza**  
**Corrupção**  
**Onipotência**  
**Ignorância**  
**(omissão e despreparo)**

91

**Conformidade do Concreto**

*Consultores, Projetistas, Controladores,  
Gerenciadores, Construtores, Fiscais*

*Falta de ética*  
*Atuação venal*  
*Mezquinhez*  
*Avareza*  
*Corrupção*  
*Onipotência*  
*Ignorância*  
*(omissão e despreparo)*

**“não há tecnologia  
que resolva...”**

92



93