



Avaliação da Resistência do Concreto em Estruturas Existentes. Nova ABNT NBR 7680 Testemunhos



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

Paulo Helene

*Diretor PhD Engenharia
Prof. Titular Universidade de São Paulo*

Carlos Brites

*Diretor PhD Engenharia
Doutor em Ciências dos Materiais pela POLI-USP*

PECE. EP.USP

11 de junho de 2014

São Paulo

1



ABNT/CB-18
1º PROJETO ABNT NBR 7680
MAR 2013

Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de resultados de testemunhos de concreto

APRESENTAÇÃO

1) Este 1º Projeto de Revisão foi elaborado pela Comissão de Estudo de Métodos de Ensaio de Concreto (CE-18:300.02) do Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados (ABNT/CB-18), nas reuniões de:

25.03.2011	29.04.2011	20.05.2011
16.06.2011	22.07.2011	18.08.2011
23.09.2011	24.10.2011	16.11.2011
02.03.2012	13.04.2012	

2) Este 1º Projeto de Revisão é previsto para cancelar e substituir a ABNT NBR 7680:2007, quando aprovado, sendo que nesse ínterim a referida norma continua em vigor;

2



1. Escopo

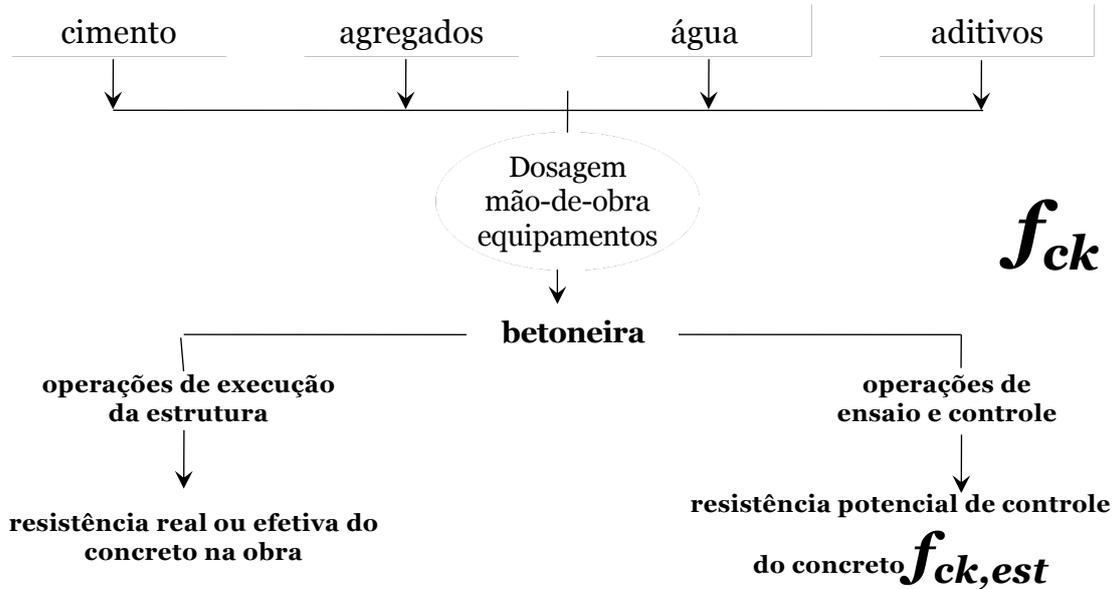
Esta Norma estabelece os requisitos exigíveis para os processos de extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto.

Esta Parte 1 da Norma trata especificamente das operações relativas à determinação da resistência à compressão axial.

Os resultados obtidos pelo procedimento estabelecido nesta Parte 1 podem ser utilizados para revisão da segurança estrutural em obras existentes, em casos de não conformidade da resistência do concreto aos critérios da ABNT NBR 12655, assim como em inspeções e análises de obras de retrofit, reforma, mudança de uso, incêndio, acidentes, colapsos parciais e outras situações em que a resistência à compressão do concreto deva ser conhecida.

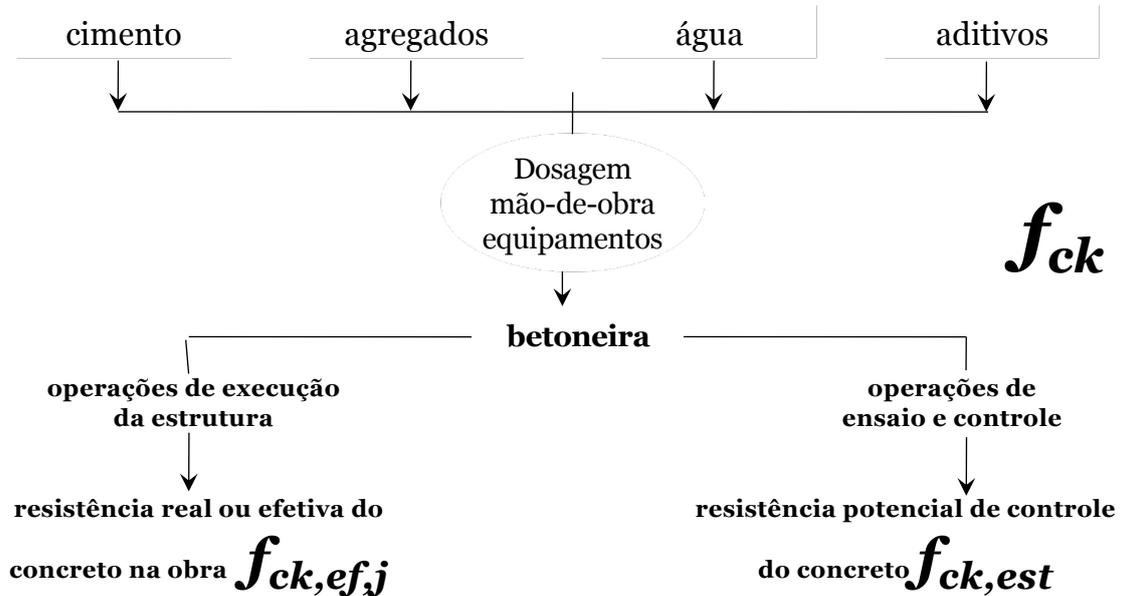
ABCP	EPT	PhD
ABECE	EXATA	POLIMIX
ABESC	Falcão Bauer	QUALITEC
Carlos Campos	FURNAS	SCAC
CAUE	HOLCIM	SUPERMIX
CIMPOR	INTERCEMENT	TECMIX
CONCREMAT	IPT	TESTE
EESC	LENC	VOTORANTIM
ENGEMIX		

resistência do concreto



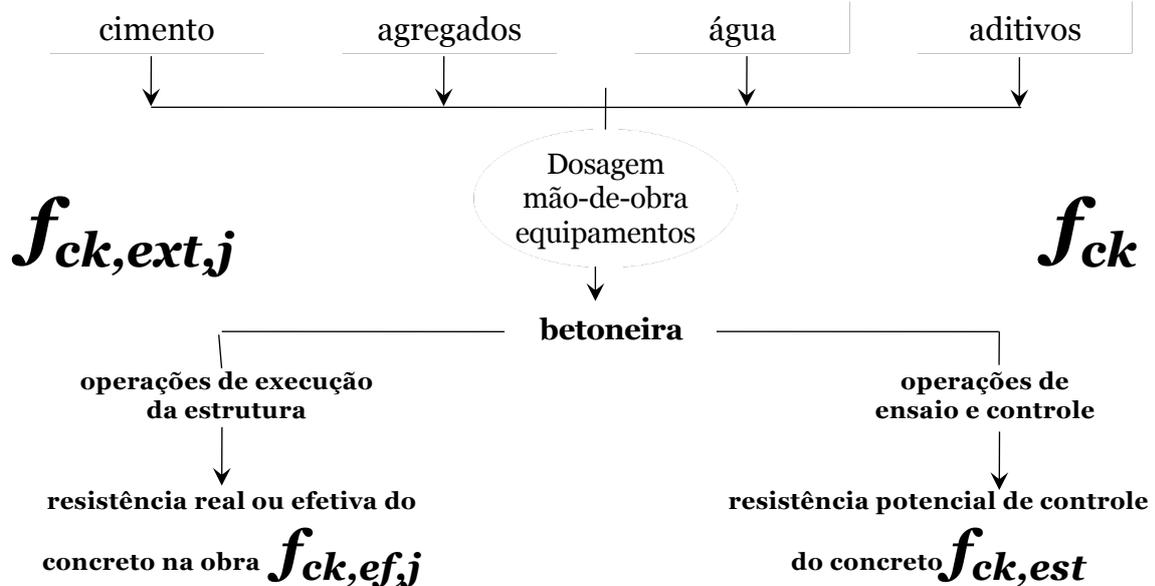
5

resistência do concreto



6

resistência do concreto



7

Preliminares

Conceitos:

→ do que estamos falando?

8

Preliminares

resultados de controle que podem gerar dúvidas, ou seja, resultados de $f_{ck,est}$ entre $0,60*f_{ck}$ a $0,95*f_{ck}$ e, principalmente quando há divergência entre *Concreteira e Laboratório*

9

ordem	nota fiscal	consistência do concreto fresco	Resistência à Compressão		crescimento de 7 para 28 dias
			7 dias 7-Apr-09	28 dias 28-Apr-09	
1	206099	686	48.9	50.2	1.027
2	206100	736	53.6	54.8	1.022
3	206101	746	57.1	57.8	1.012
4	206102	753	51.0	51.4	1.008
5	206103	743	44.0	53.6	1.218
6	206105	726	56.2	57.7	1.027
7	206106	730	50.4	52.0	1.032
8	206109	750	56.5	57.0	1.009
9	206110	720	53.8	54.7	1.017
média em MPa			52.4	54.4	1.041
desvio padrão em MPa			4.0	2.6	0.063
coeficiente variação em %			7.7	4.8	6.056

10



11



12



13



14



15



16



17

Preliminares

Conceitos:

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

18

Preliminares

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

f_{ck} ? f_{cd} ? σ_{cd} ? a 28 dias \rightarrow a partir de $f_{c,ext,j}$?

19

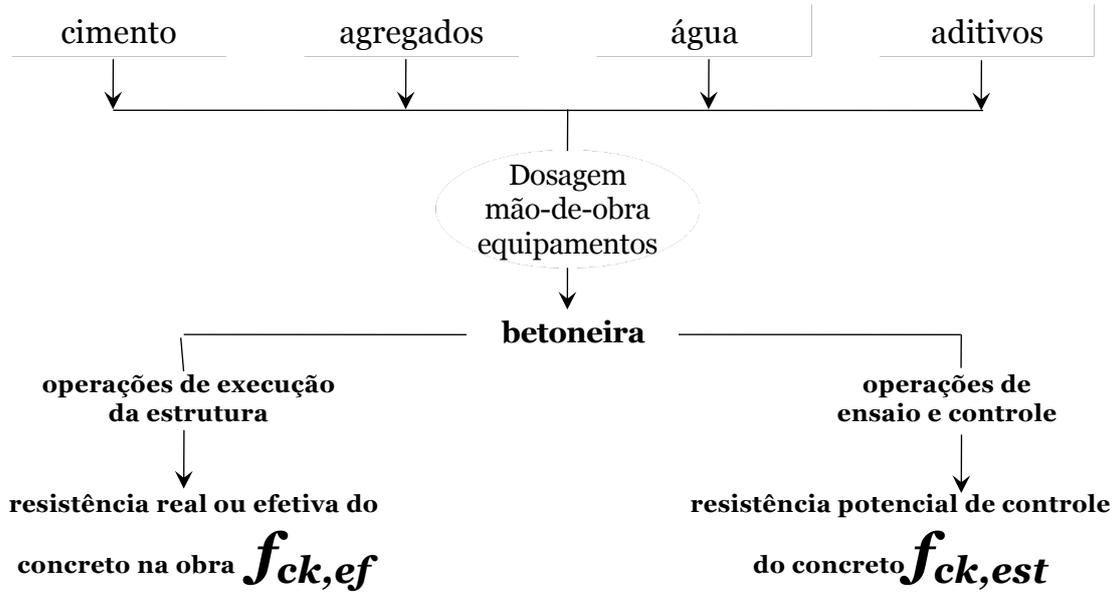
Preliminares

encontrar aquele f_{ck} padrão convencional, normalizado, muito bem definido.

A NBR 7680, hoje, fornece apenas o $f_{c,ext,j}$ e, portanto ainda não serve para calcular, revisar, verificar a segurança

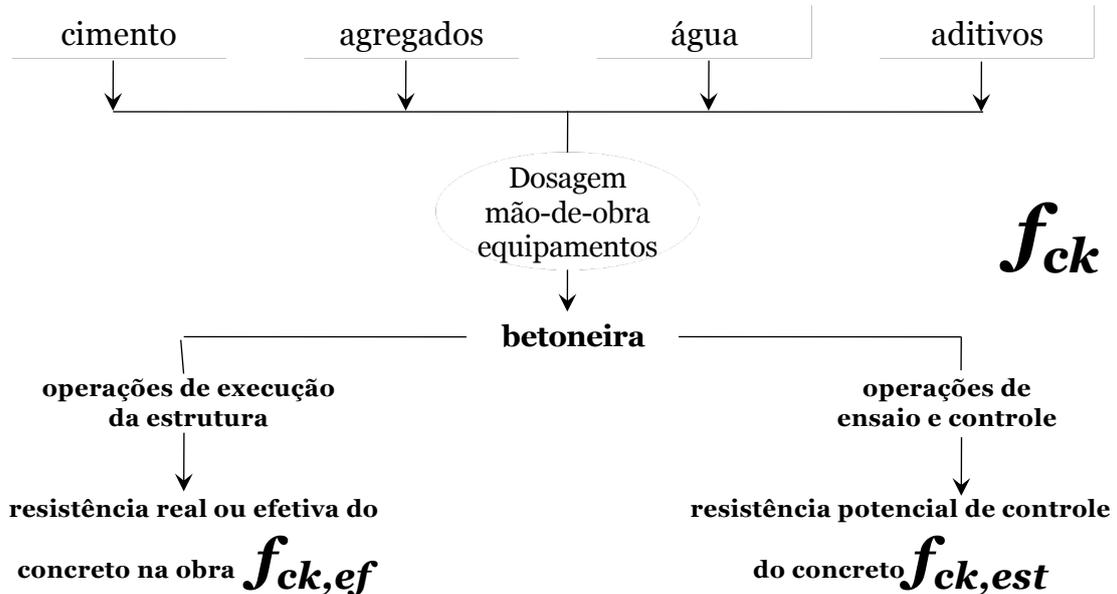
20

resistência do concreto



21

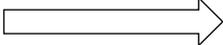
resistência do concreto



22

resistência do concreto

PROJETISTA ESTRUTURAL

f_{ck}
28d  referencial

$$f_{cd} = f_{ck} / 1,4$$

23

resistência do concreto

TECNOLOGIA DO CONCRETO

NBR 12655; NBR 5738 E NBR 5739

- ✓ *geometria: $h/d = 2 \rightarrow 10 \times 20$ ou 15×30*
- ✓ *adensamento ideal*
- ✓ *cura submerso; $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$*
- ✓ *preparação topos; retificação (ideal)*
- ✓ *direção de aplicação da carga //*
- ✓ *velocidade de carga (ideal)*
- ✓ *ruptura saturado*

24

resistência do concreto

TECNOLOGIA DO CONCRETO

NBR 12655; NBR 5738 E NBR 5739

*pode
melhorar?*

- ✓ *geometria: $h/d = 2 \rightarrow 10 \times 20$ ou 15×30*
- ✓ *adensamento ideal*
- ✓ *cura submerso; $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$*
- ✓ *preparação topos; retificação (ideal)*
- ✓ *direção de aplicação da carga //*
- ✓ *velocidade de carga (ideal)*
- ✓ *ruptura saturado*

25

quantas resistências tem o concreto
de um caminhão betoneira?

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

exemplar = mais alto (f_{ck})

“potencial do concreto”

26

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”

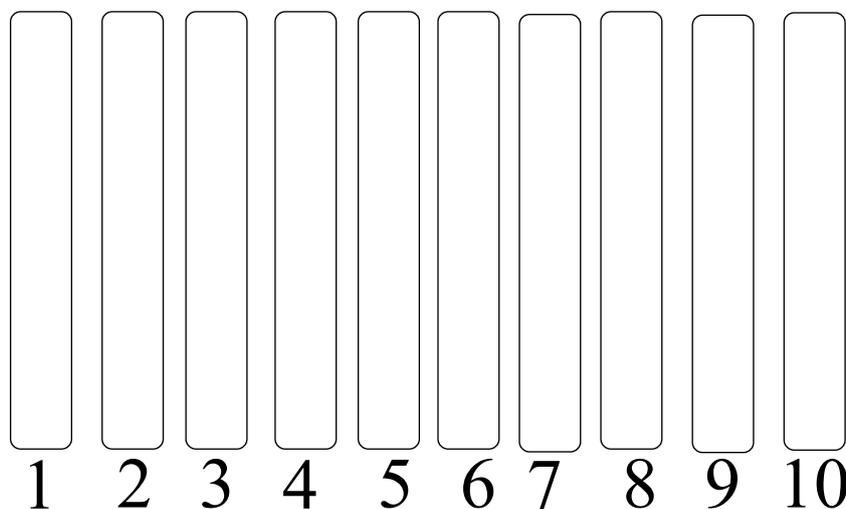
27

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

28

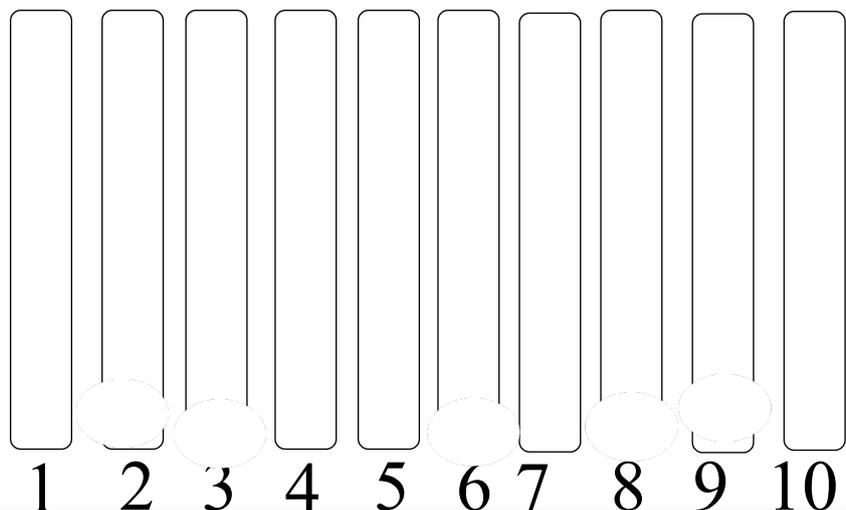
com esse concreto foram construídos 10 pilares.
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?



f_{ck}
45MPa

29

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



30

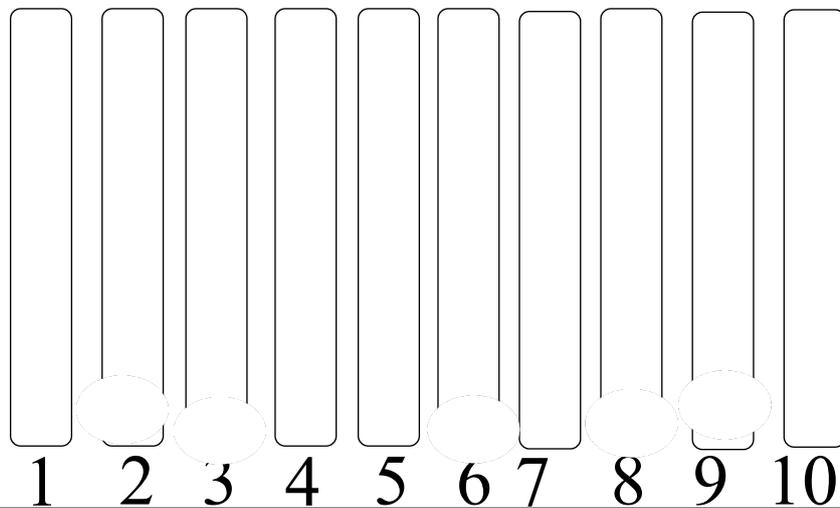


31



32

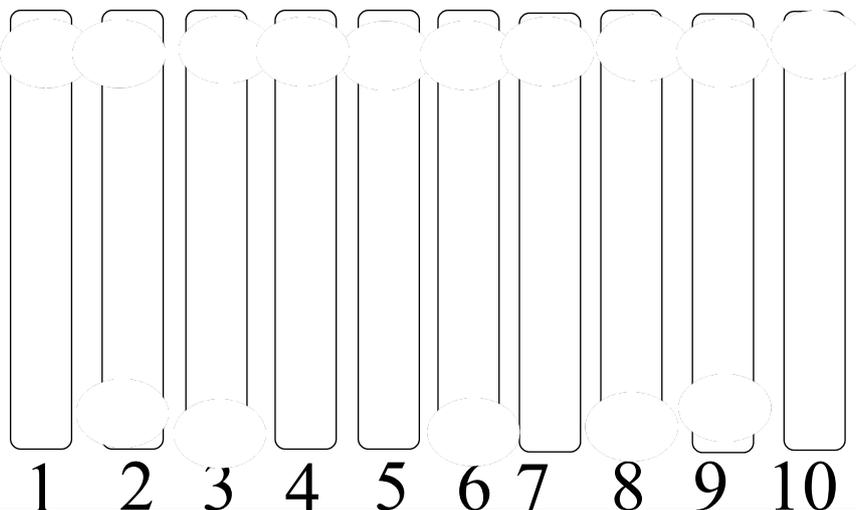
“ninhos de concretagem”
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?



f_{ck}
45MPa

33

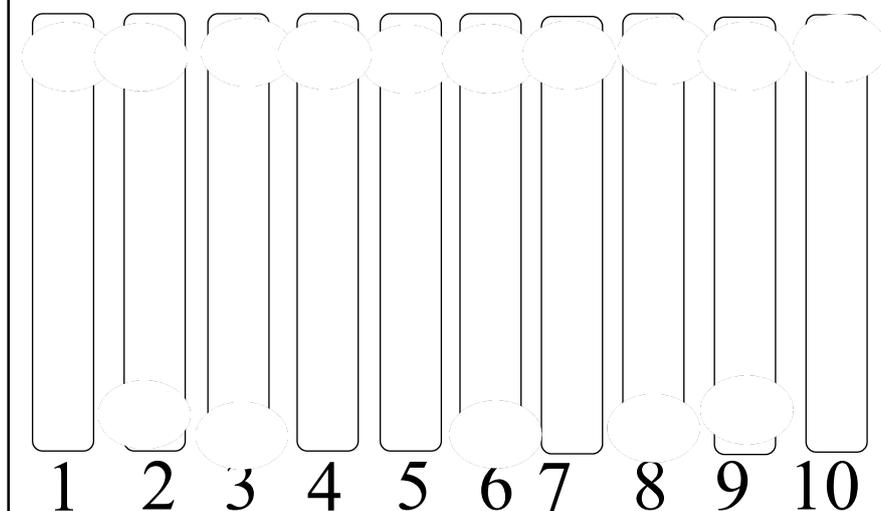
“exsudação”
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?



34

“exsudação”

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

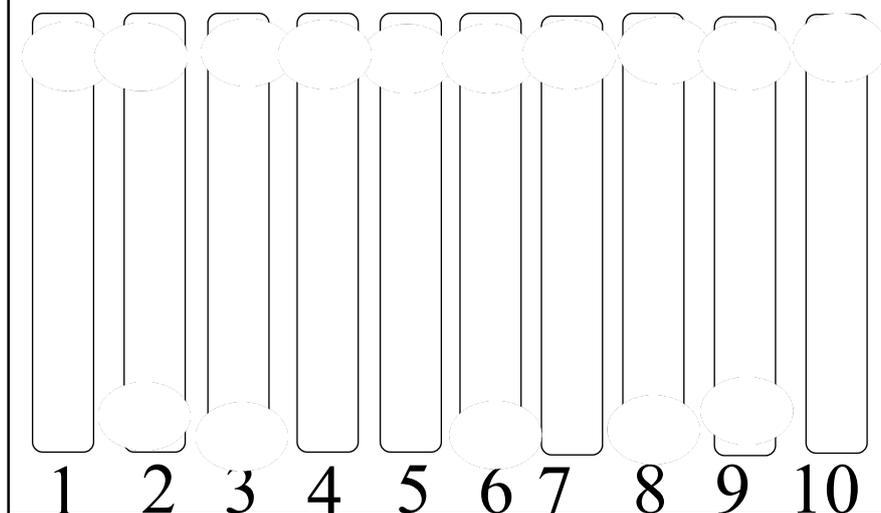


f_{ck}
45MPa

35

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

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

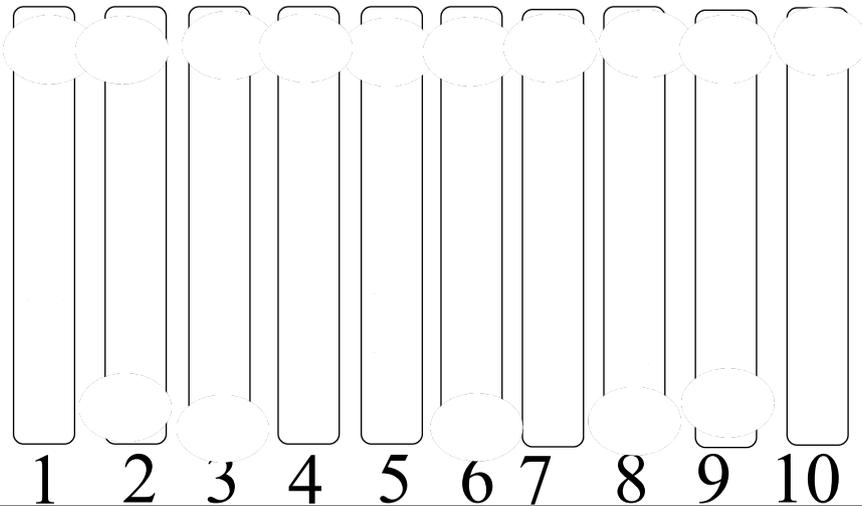


f_{ck}
45MPa

36

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

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

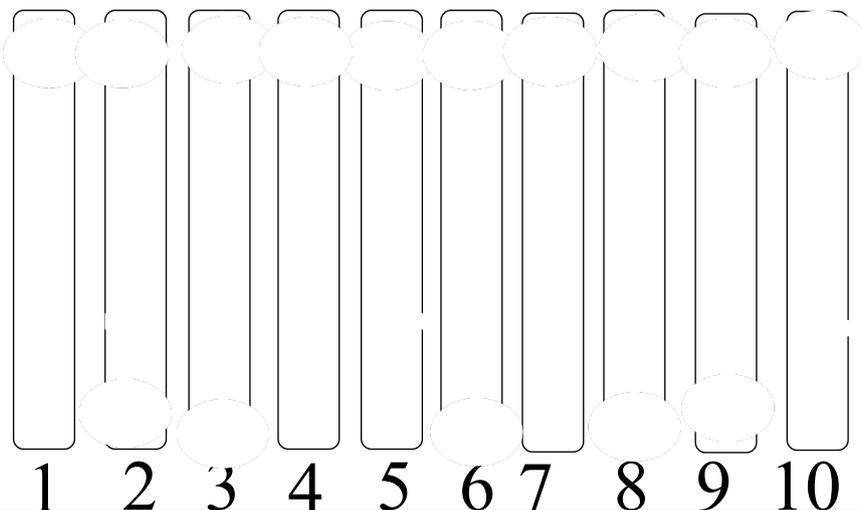


terço inferior

37

qual a resistência obtida de um pilar?

$f_{ck,ext}$?



terço inferior

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

38

testemunhos extraídos

estudo de caso $\rightarrow f_{ck} = 35\text{MPa}$

pilar	c. betoneira 1
P11	29.5
P12	31.6
P13	33.0
P11	34.3
P14	35.2
P14	35.4
P13	35.9
P12	37.4
P15	37.7
P16	37.9
f_{cm} (MPa)	34.8
s_c (MPa)	2.8
v_c (%)	8%
$f_{ck,est}$ (MPa)	29.0

39

testemunhos extraídos

estudo de caso $\rightarrow f_{ck} = 35\text{MPa}$

pilar	c. betoneira 1
P11	29.5
P12	31.6
P13	33.0
P11	34.3
P14	35.2
P14	35.4
P13	35.9
P12	37.4
P15	37.7
P16	37.9
f_{cm} (MPa)	36.4
s_c (MPa)	1.5
v_c (%)	4

40

$f_{ck,ef} \rightarrow$ impossível de ser conhecido

$$f_{ck,ef} \approx f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

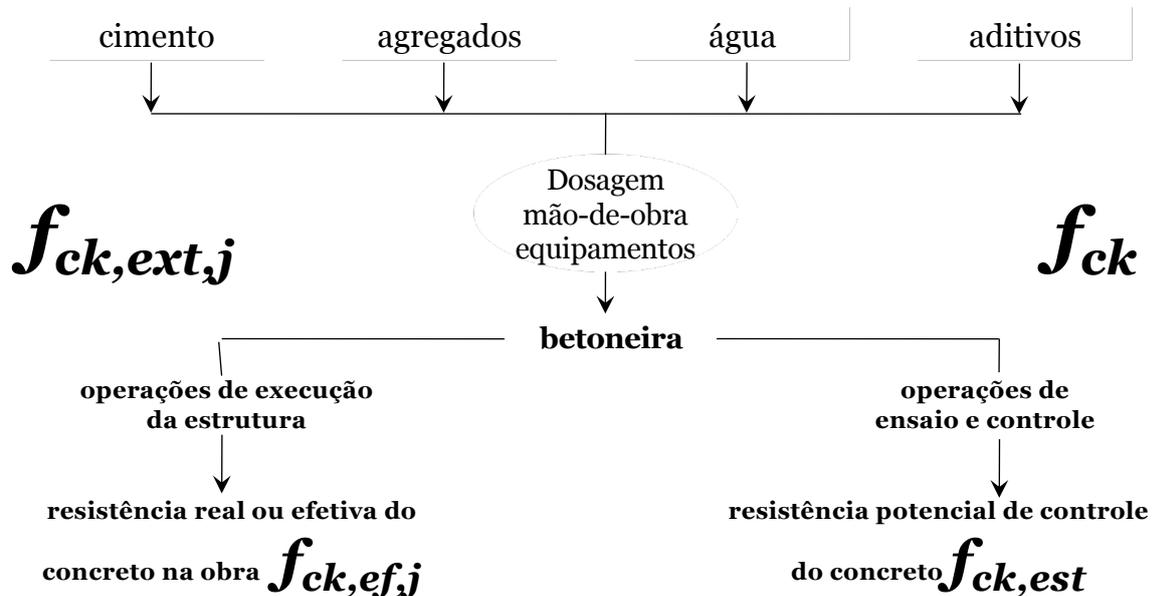
$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{ck} = 20MPa \implies f_{ck,ef} \approx f_{cd} = 14,2MPa$$

$$f_{ck} = 50MPa \implies f_{ck,ef} \approx f_{cd} = 35,7MPa$$

41

resistência do concreto



42

Preliminares

Um concreto conforme é aquele que apresenta resistência à compressão igual ou superior ao f_{ck} de projeto em 95% do volume de concreto da estrutura em construção.

Por exemplo: numa estrutura de edifício com 20 andares de 100m^3 por andar resulta um volume total da ordem de 2.000m^3 de concreto.

Em princípio 100m^3 (cerca de 12 caminhões-betoneira) poderia apresentar resistência abaixo de f_{ck} e o concreto estaria conforme.

43

Preliminares

Portanto é preciso saber CONVIVER com esse problema.

É preciso saber ONDE está esse concreto e QUAL sua resistência.

Só sabe quem CONTROLA.

Um caminhão-betoneira pode concretar 10 pilares !

44

Preliminares

→ *Durante o controle de recebimento (obra):*

$$f_{ck,est} < f_{ck}$$

Pode haver problemas na produção do concreto → CONCRETEIRA

Pode haver problemas no controle → LABORATÓRIO

→ *Precisa extrair testemunhos:*

Pode haver problemas na execução → CONSTRUTORA

Pode haver problemas nos ensaios → (outro) LABORATÓRIO

Pode haver problemas na análise → PROJETISTA / CONSULTOR

45

Normatização Internacional

- 1. fib(CEB-FIP) Model Code 2010. Draft Model Code. March 2010. Bulletin 55. v.1*
- 2. fib(CEB-FIP) Bulletin 22 Monitoring and Safety Evaluation of Existing Concrete Structures. State-of-art Report. 304p. 2003.*
- 3. fib(CEB-FIP) bulletin n.2. v.2. July 1999. Structural Concrete. updating CEB/FIP Model Code 90)*
- 4. fib(CEB-FIP) bulletin n.54. v.4. October 2010. Manual, Textbook on Behavior, Design and Performance. Structural Concrete*
- 5. ISO 13822:2010. Bases for Design Structures. Assessment of Existing Structures. International Organization for Standardization. 2010. 44 p.*

46

Normatização Internacional

6. *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.*
7. *ACI 214.4R-10 Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results. 2010. 17p.*
8. *ACI 437R-03 Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings. 2010. 28p.*
9. *ACI 318M-08 Building Code Requirements for Structural Concrete. 2008. 470p.*

47

Normatização Internacional

6. *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.*
7. *ACI 214.4R-10 Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results. 2010. 17p.*
8. *ACI 437R-03 Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings. 2010. 28p.*
9. *ACI 318M-11 Building Code Requirements for Structural Concrete. 2011. 470p.*

48

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.

2.4.2.4 Partial factors for materials

1. Partial factors for materials for ultimate limit states, γ_c and γ_s should be used.

Note: The recommended values for design situations are given in Table 2.1N.

these are not valid for fire design for which reference should be made to EN 1992-2.

Table 2.1N - Partial factors for materials for ultimate limit states

design situations	γ_c for concrete	γ_s for reinforcing steel
persistent & transient	1,5	1,15
accidental	1,2	1

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.

2. The values for partial factors for materials for serviceability limit state verification should be taken as those given in the particular clauses of this Eurocode. **Note:** The recommended value for situations not covered by particular clauses of this Eurocode is **1,00**.

3. Lower values of γ_c and γ_s may be used if justified by measures reducing the uncertainty in the calculated resistance. **Note:** Information is given in Informative Annex A.

Annex A → Modification of Partial Factors for Materials

A.2 In situ concrete structures

A.2.1 Reduction based on quality control and reduced deviations

**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.**

- (1) If execution is subjected to a quality control system, which ensures that unfavorable deviations of cross-section dimensions are within the reduced deviations given in Table A.1, the partial safety factor for reinforcement may be reduced to $\gamma_{s,red1} = 1,1$.
- (2) Under the condition given in A.2.1 (1), and if the coefficient of variation of the concrete strength is shown not to exceed 10 %, the partial safety factor for concrete may be reduced to $\gamma_{s,red1} = 1,4$.

A.2.2 Reduction based on using reduced or measured geometrical data in design

51

**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.**

- (1) If the calculation of design resistance is based on critical geometrical data, including effective depth, which are either: a. reduced by deviations, or, b. measured in the finished structure, the partial safety factors may be reduced to $\gamma_{s,red2} = 1,05$ and $\gamma_{c,red2} = 1,45$.
- (2) Under the conditions given in A.2.2 (1) and provided that the coefficient of variation of the concrete strength is shown not to exceed 10%, the partial factor for concrete may be reduced to $\gamma_{c,red3} = 1,35$.

A.2.3 Reduction based on assessment of concrete strength in finished structure

52

**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.**

(1) For concrete strength values based on testing in a finished structure or element, see EN 13791, EN 206-1 and relevant product standards, γ_c may be reduced by the conversion factor $\eta = 0,85$, ou seja, **aumentar de 18% (1/0,85)**

Resumindo:

✓ *estrutura bem executada → revisar a segurança adotando:*

$\gamma_s = 1.05$ (ao invés de 1.15)

$\gamma_c = 1.35$ (ao invés de 1.50)

✓ *a partir de testemunhos extraídos revisar adotando:*

$f_{c,j} \approx 1.18 \cdot f_{c,ext,j}$

53

**ACI 318M-11 Building Code Requirements for
Structural Concrete. 2011. 470p.**

Chapter 5. Concrete Quality, Mixing, and Placing

Item 5.6.5 Investigation of low-strength test results:

...concrete in an area represented by core tests shall be considered structurally adequate if the average of three cores is equal to at least 85 percent of f'_c and if no single core is less than 75 percent of f'_c ... (corresponde a $f'_c = 1,18 \cdot f_{core,av}$ ou $f'_c = 1,33 \cdot f_{core,min}$)

5.6.5 comments → ...core tests having an average of 85 percent of the specified strength are realistic. To expect core tests to be equal to f'_c is not realistic, since differences in the size of specimens, conditions, of obtaining samples, and procedures for curing, do not permit equal values to be obtained...

5.6.5.5 ...if criteria of 5.6.5.4 are not met and if the structural adequacy remains in doubt...strength evaluation accordance with chapter 20...

54

**ACI 318M-11 Building Code Requirements for
Structural Concrete. 2011. 470p.**

Chapter 20. Strength Evaluation of Existing Structures

20.2.3 ...for strength evaluation of an existing structure, cylinder or core test data shall be used to estimated an equivalent f'_c . The method for obtaining and testing cores shall be in accordance with ASTM C42M...

20.2.5 ...it shall be permitted to increase the strength reduction factor ϕ but ϕ shall be according with Table 20.2.5.1

Table 20.2.5.1 Factor ϕ to reduce the concrete strength.

sections	item 9.3.2	item 20.2.5	aumento
tension controlled sections	0,90	1,00	1,11
compression controlled sections			
members with spiral reinforcement	0,75	0,90	1,20
other reinforced members	0,65	0,80	1,23
shear and/or torsion	0,75	0,80	1,06
bearing on concrete (engastar)	0,65	0,80	1,23

55

**ACI 318M-11 Building Code Requirements for
Structural Concrete. 2011. 470p.**

Chapter 20. Strength Evaluation of Existing Structures

Obs.:

Um simples cálculo demonstra que esse aumento no coeficiente de redução da resistência do concreto, de 6% a 23% significa reduzir, para fins de comparação, o coeficiente de minoração, γ_c de 1,5 para γ_c de 1,22 a 1,40. Em compressão cintada passaria de $\gamma_c = 1,5$ para $\gamma_c = 1,25$;

*Observar que se trata de uma redução dupla: primeiro achar o f'_c equivalente no qual $f'_c = 1,18 * f_{core,av}$ ou $f'_c = 1,33 * f_{core,min}$ e, posteriormente se não aprovar, reduzir o coeficiente de minoração γ_c para até 1,22.*

56

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 inspeção da estrutura, pacometria, esclerometria e ultrassom, amostragem, extração, prumo, excentricidade, medidas geométricas “as built” de campo, transporte dos testemunhos, preparação dos topos, sazonalidade, ensaio de ruptura e correção do resultado para obter $f_c = \lambda * f_{c,ext}$

57

resumo normas internacionais

2. Uma segunda relativa à verificação da segurança, ou cálculo da segurança estrutural na qual é alterado o coeficiente de minoração da resistência do concreto, ou o coeficiente global de segurança, ou o coeficiente β de confiabilidade, segundo seja o método de introdução da segurança no projeto das estruturas de concreto preferido pelo projetista. Em todos os casos é recomendado aceitar coeficientes γ_M de minoração da resistência dos materiais ou β de confiabilidade, inferiores aos utilizados normalmente no projeto (verificação) da segurança em estruturas novas.

58

Pesquisas Investigações

59

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

60

OBJETIVO

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

61

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 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

62

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

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

63

Conclusões

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

64



3. Campo de aplicação e exigências gerais

3.1. Generalidades

A extração de testemunhos de estruturas se aplica, principalmente, às situações previstas em 3.2 e 3.3. Em todos os casos, sua realização depende da aprovação prévia de um engenheiro responsável

Nos casos controversos que envolvam mais de um interveniente, a extração deve ser antecipadamente planejada em comum acordo entre as partes envolvidas (responsável pelo projeto estrutural, pela execução da obra, pela extração dos testemunhos e, quando for o caso, pela empresa de serviços de concretagem, entre outros).

3.2. Extração de testemunhos de estruturas em execução

Aplicável quando a resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) não for atingida a partir dos critérios previstos na ABNT NBR 12655 para aceitação automática do concreto no estado endurecido.

Neste caso, antes da realização da extração, deve ser solicitado ao projetista estrutural que verifique a segurança estrutural a partir do valor da resistência característica à compressão estimada ($f_{ck,est}$) com base nos resultados dos ensaios dos corpos de prova moldados, conforme previsto na ABNT NBR 12655. Feita esta análise, tem-se duas possibilidades:

- o resultado da análise é positivo: os critérios de avaliação da segurança estrutural são considerados atendidos com a resistência, $f_{ck,est}$, obtida conforme a ABNT NBR 12655, para a estrutura ou parte dela. Neste caso não é necessária a realização de extrações de testemunhos e o projetista estrutural aceita a nova resistência, $f_{ck,est}$, obtida;
- o resultado da análise é negativo: deve ser feito um planejamento da extração de testemunhos, considerando os critérios desta Norma, em comum acordo com todas as partes envolvidas, conforme 3.1.

3.3. Extração de testemunhos de estruturas existentes

Sempre que for considerada necessária, a realização de extração de testemunhos em estruturas existentes deve ser precedida de estudos com base nos documentos disponíveis (projetos, memórias de cálculo, memoriais descritivos e outros), de forma a balizar a obtenção de informações consistentes e evitar extrações desnecessárias, que podem minorar a capacidade resistente da estrutura em avaliação.



Tabela 1 – Mapeamento da estrutura, formação de lotes e quantidade de testemunhos a serem extraídos

Tipo de controle (conforme ABNT NBR 12655)	Mapeado (rastreadibilidade)		Formação de lotes		Quantidade de testemunhos por lote ^a
	No lançamento	Por ensaios não destrutivos			
Amostragem total	Sim	Indiferente	Cada lote corresponde ao volume de um caminhão betoneira	Aplicado em um elemento estrutural	2
	Não	Sim	Conforme o mapeamento. Cada lote deve corresponder ao conjunto contido num intervalo pequeno de resultados dos ensaios não destrutivos ^b	Aplicado em mais do que um elemento estrutural	3
Até 8m ³				3 ^c	
Amostragem parcial	Indiferente	Sim	Conforme o mapeamento. Cada lote deve corresponder ao conjunto contido num intervalo pequeno de resultados dos ensaios não destrutivos ^b	Maior que 8 m ³ e menor que 50 m ³	4
				Até 8m ³	4
				Maior que 8m ³ e menor que 50m ³	6
Casos excepcionais ^a	Vale o critério de amostragem parcial conforme ABNT NBR 12655 (concreto preparado na obra).				

^a Ver seção 6.
^b Para o índice esclerométrico e velocidade de propagação de onda ultrassônica recomenda-se que a dispersão do conjunto de resultados seja de $\pm 15\%$ do valor médio.
^c Em se tratando de um único elemento estrutural, a quantidade de testemunhos deve ser reduzida a dois, de forma a evitar danos desnecessários.

4.2.1.2. Estruturas existentes

Os requisitos relativos ao mapeamento, à formação de lotes e à quantidade de testemunhos a serem extraídos estão estabelecidos na Tabela 1 e equivalem ao caso de amostragem parcial.

No caso de estruturas sem histórico do controle tecnológico, esta deve ser dividida em lotes, identificados em função da importância dos elementos estruturais que a compõem e da homogeneidade do concreto, que deve ser avaliada por meio de ensaios não destrutivos conforme 4.2.1.1.

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 ?

67

4.5.4. Condições de umidade

Quando o concreto da região da estrutura que está sendo examinada não estiver em contato com água, os testemunhos devem ser mantidos ao ar, em ambiente de laboratório, obedecendo aos critérios de temperatura da ABNT NBR 5738, e ensaiados no estado de equilíbrio que se encontrem.

Quando o concreto da região da estrutura que está sendo examinada estiver em contato com água, os testemunhos devem ser acondicionados em tanque de cura ou câmara úmida (ABNT NBR 9479), no mínimo durante 72h, sendo rompidos na condição saturado superfície seca, obedecendo os critérios de temperatura da ABNT NBR 5738.

Caso essas condições não sejam cumpridas, o fato deve ser informado no relatório do ensaio.

4.6. Determinação da resistência à compressão

4.6.1. Procedimentos

Os testemunhos devem ser ensaiados de acordo com o estabelecido na ABNT NBR 5739, sendo determinada sua resistência de ruptura à compressão axial.

Testemunhos que não atendam o previsto em 4.2.5 não podem ser ensaiados, pois não podem ser considerados para fins de avaliação da resistência à compressão do concreto. O fato deve ser registrado no relatório do ensaio.

Cada testemunho deve ser detalhadamente observado antes e após a ruptura, sendo carregado até sua total desagregação. Devem ser anotadas e documentadas com fotos todas as eventuais irregularidades observadas.

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão axial dos testemunhos extraídos devem ser identificados por $f_{ci,ext,inicial}$.

Esses resultados devem ser corrigidos pelos coeficientes k_1 a k_6 , conforme as Seções 5 e 6 e os resultados obtidos, após essas correções, devem ser informados como $f_{ci,ext}$.

Nota: Recomenda-se que os ensaios e procedimentos descritos nesta Norma sejam realizados por laboratórios acreditados pelo INMETRO e seus profissionais qualificados conforme a ABNT NBR 15146-1.

4.6.2. Relatório da extração e do ensaio

O relatório da extração e do ensaio deve conter todas as informações especificadas na ABNT NBR 5739 e as seguintes:

68

Problema

$$f_{ci,ext} = k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * k_6 * f_{ci,ext,initial}$$

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

69

5.2.2. Efeito segregação (k_1)

Para elementos estruturais com altura superior a 2m, caso o testemunho tenha sido extraído a uma distância menor que 30cm dos limites superior e inferior da etapa de concretagem, é necessária a correção do resultado devido ao efeito de segregação, para isso emprega-se $k_1 = 1,15$. Nos outros casos emprega-se $k_1 = 1,00$.

Os locais preferíveis para a extração dos testemunhos de forma a evitar os efeitos de segregação no resultado do ensaio estão informados em 4.2.2.

Cabe ao responsável pela extração informar ao laboratório de ensaio o local de onde foi extraído o testemunho, indicando se está em região de segregação. Essa informação deve constar do relatório de ensaio.

5.2.3. Direção da extração em relação ao lançamento do concreto (k_2)

Cabe ao responsável pela extração informar ao laboratório de ensaio sobre a direção de extração com relação ao lançamento do concreto. Para extrações realizadas no sentido ortogonal ao lançamento (pilares, cortinas, paredes, vigas, etc.) $k_2 = 1,05$. Para extrações realizadas no sentido do lançamento (lajes, capitéis, etc.) $k_2 = 1,00$.

5.2.4. Relação h/d (k_3)

70

$k_3 \rightarrow$ geometria do testemunho

k_3 = correção devida à geometria do testemunho cilíndrico, ou seja, devida à relação h/d.

Esse coeficiente pode ser obtido da antiga *ABNT NBR 7680*.

relação h/d	$k_3(NBR\ 7680)$	ASTM C 42	BS 1881
2,00	1,00	1,00	1,00
1,75	0,98	0,98	0,98
1,50	0,96	0,96	0,96
1,25	0,93	0,93	0,94
1,00	0,87	0,87	0,92

71

5.2.4. Relação h/d (k_3)

Quando h/d=2 não se verifica, a resistência de ruptura à compressão do testemunho deve ser corrigida multiplicando-se o valor da resistência pelo fator definido na Tabela 2. Esta correção deve ser informada no relatório do ensaio.

Para valores da relação altura/diâmetro compreendidos entre os constantes na Tabela 2, os fatores de correção podem ser obtidos por interpolação linear.

Tabela 2 – Valores de k_3

<i>h/d</i>	2,00	1,88	1,75	1,63	1,50	1,42	1,33	1,25	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00
k_3	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86

5.2.5. Efeito do broqueamento (k_4)

72

$k_4 \rightarrow$ broqueamento

k_4 = coeficiente devido ao efeito deletério de broqueamento.

ACI 214:2010 \rightarrow 1,06

73

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

74

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 NBR 5738 / 5739 (28dias) 10cm x 20cm & 15cm x 30cm
- **Resistência efetiva** → 930 testemunhos cilíndricos extraídos conforme NBR 7680 / 5739 (28dias) 15cm x 30cm; 10cm x 20cm; 7.5cm x 15cm; 5cm x 10cm e 2.5cm x 5cm

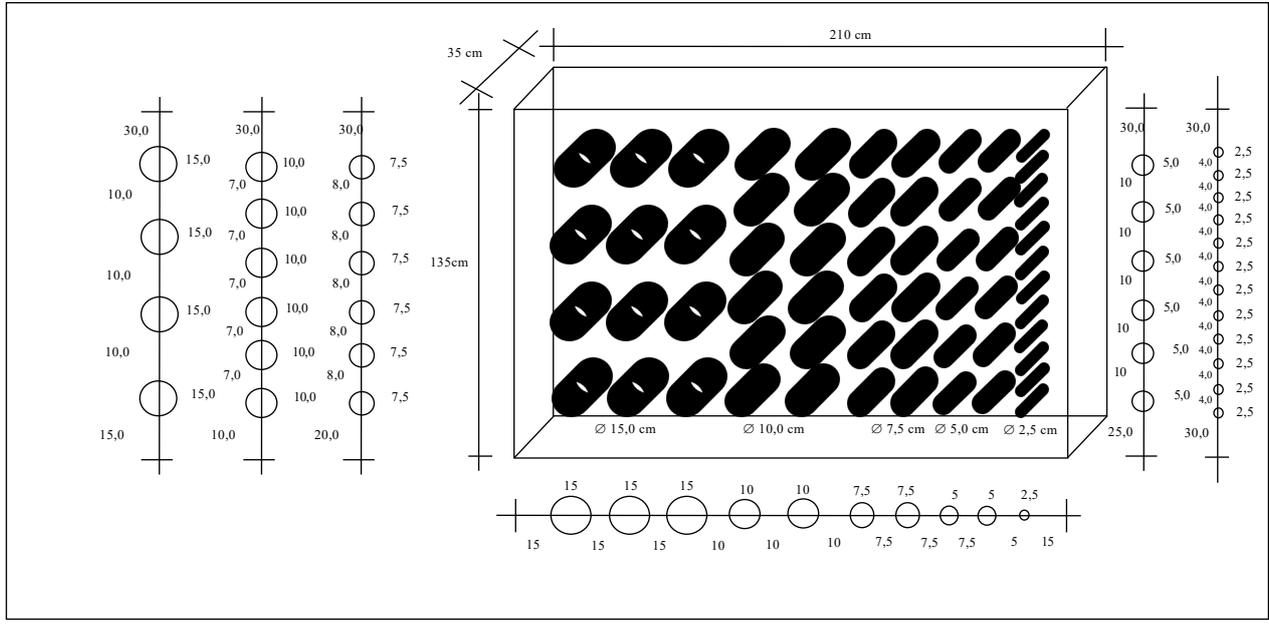
75

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;

76

BLOCO TIPO (210X135X35)cm



77



78



79



Parede/bloco perfurada

80

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 maior variabilidade. Refletem melhor quando f_c é igual ou superior a 50MPa.

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

81

$k_4 \rightarrow$ broqueamento

$k_4 =$ coeficiente devido ao efeito deletério de broqueamento.

ACI 214:2010 p.10 Table 9.1 “damage due to drilling”	Tese Doutorado José Orlando Vieira Filho. 2007 “efeito do broqueamento”
1,06	1,07

Esse efeito deletério do broqueamento fica ainda mais importante ao se considerar a possibilidade do uso de equipamentos velhos, mal conservados, mal fixados no momento da extração e manuseado por operadores mal treinados;

82



5.2.6. Efeito do diâmetro (k_5)

Testemunhos de menor diâmetro geram maiores variações nos resultados de ensaio. Para levar em conta o efeito do diâmetro do testemunho emprega-se k_5 de acordo com a Tabela 3, sendo permitida interpolação dos valores de k_5 em função do diâmetro real do testemunho conforme 4.2.3. Esta correção deve ser aplicada sobre o resultado de ruptura e informada no relatório do ensaio.

Para diâmetros compreendidos entre 75 mm e 100 mm, os fatores de correção podem ser obtidos por interpolação linear, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - k_5 em função do diâmetro nominal do testemunho

Diâmetro do testemunho (d_t) mm	< 25	$25 \leq d_t < 75$	75	100	≥ 150
k_5	Não permitido	Casos especiais ^a	1,03	1,00	0,98

^a em casos especiais podem ser utilizados testemunhos de diâmetro inferior a 75 mm, desde que o coeficiente de correção (k_5) seja, no mínimo igual a 1,03, e, neste caso, o número de testemunhos deve ser no mínimo o dobro do estabelecido na Tabela 1.

5.2.7. Efeito da umidade do testemunho (k_6)

Antes do ensaio de ruptura, os testemunhos devem ser preparados conforme 4.5. No caso de testemunhos ensaiados saturados, emprega-se $k_6 = 1,00$. No caso de ensaio a seco $k_6 = 0,96$. Esta correção deve ser aplicada sobre o resultado de ruptura e informada no relatório do ensaio.

Problema

$$f_{ci,ext} = k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * k_6 * f_{ci,ext, inicial}$$

$$f_{ci,ext} \rightarrow \text{relatório de ensaio}$$

6. Cálculo dos resultados pelo laboratório

Considerando os coeficientes estabelecidos na Seção 5, é possível obter a resistência corrigida dos testemunhos extraídos, que para os efeitos desta Norma, corresponde à resistência do concreto à compressão.

Cabe ao laboratório responsável pelo ensaio informar os resultados individuais de cada testemunho, corrigidos pelos coeficientes k_1 a k_6 , de acordo com a equação a seguir:

$$f_{ci,ext} = k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * k_6 * f_{ci,ext,initial}$$

Para verificar a uniformidade dos resultados, calcular a média aritmética com os resultados individuais corrigidos obtidos. Caso os resultados tenham divergência em relação à média maior do que $\pm 15\%$, este valor deve ser analisado com mais rigor pois pode indicar que o testemunho não faz parte do lote examinado.

A extração pode ser repetida ou pode-se estudar uma nova subdivisão de lotes, conforme definido na Tabela 1. Este critério também pode ser utilizado para descartar resultados espúrios.

7. Cálculos e critérios de avaliação e recebimento

7.1. Recebimento da estrutura ou avaliação da segurança estrutural

85

Problema → Segurança

$$f_{ci,ext,seg} = f_{ci,ext} * k_9 * k_{10}$$

$f_{ci,ext}$ → relatório de ensaio

86

7. Cálculos e critérios de avaliação e recebimento

7.1. Recebimento da estrutura ou avaliação da segurança estrutural

Esta Norma não se aplica ao recebimento definitivo da estrutura, para o que devem ser consultadas as ABNT NBR 6118, ABNT NBR 14931 e normas específicas em cada caso.

Para a avaliação da resistência do concreto a ser usada na verificação da segurança estrutural devem ser considerados todos os resultados emitidos pelo laboratório de ensaios, já corrigidos pelos coeficientes k_1 a k_6 .

Esses resultados devem ser multiplicados pelos coeficientes k_9 e k_{10} de forma a serem obtidos os valores de $f_{ci,ext,seg}$, conforme a equação a seguir:

$$f_{ci,ext,seg} = f_{ci,ext} \times k_9 \times k_{10}$$

A avaliação dos valores a serem considerados para comprovação da segurança estrutural deve ser realizada por profissional habilitado para tal. A resistência característica estimada do lote para fins de verificação da segurança é a média dos resultados individuais daquele lote, conforme equação a seguir:

$$f_{ck,ext,seg} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci,ext,seg}}{n}$$

Caso não se comprove a segurança estrutural a partir dos resultados dos testemunhos extraídos, podem ser realizadas novas avaliações com metodologias apropriadas, como prova de carga (ABNT NBR 9607) ou qualquer outro ensaio especial, em comum acordo entre as partes envolvidas, para aprimorar a análise da segurança estrutural e verificar a possibilidade de recebimento da estrutura. Caso não seja possível realizar novas avaliações com outra metodologia devem ser tomadas as ações para restrição quanto ao uso, recuperação ou reforço da estrutura.

87

5.2.10. Idade de ensaio (k_9)

Para regressão dos resultados obtidos a idades j , maiores que 28 dias deve ser efetuada a correção pelo crescimento da resistência do concreto pela equação a seguir ou usando os valores da Tabela 4:

$$k_9 = e^{-0,20 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28}{j}}\right)}$$

Tabela 4 - Valores de k_9 em função da idade do concreto do testemunho

Idade (dias)	28	31	35	39	44	51	59	69	82	100	125	161	215	>365
k_9	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87

No caso de elementos estruturais que foram submetidos a cargas significativas, indicadas pelo projetista estrutural, a resistência dos testemunhos pode ser considerada sem a regressão pelo efeito da idade, uma vez que o testemunho já contempla o efeito de carga de longa duração. Neste caso considera-se $k_9 = 1,00$.

5.2.11. Ajuste de coeficiente de segurança γ_c (k_{10})

Para levar em conta a maior representatividade do testemunho em relação ao corpo de prova, a ABNT NBR 6118 permite reduzir o coeficiente de minoração da resistência do concreto em 10%. Neste caso considera-se $k_{10} = 1,10$.

88

Problema → Segurança

$$f_{ci,ext,seg} = f_{ci,ext} * k_9 * k_{10}$$

$f_{ci,ext, seg} \rightarrow$ verificar segurança

89

SEGURANÇA

critérios de introdução da
segurança no projeto e
construção das estruturas de
concreto, NBR 8681:2003 e
NBR 6118:2007

90

Segurança

Valem critérios da NBR6118:2007, ou seja:

$$\sigma_{cd} = f_{cd} \cdot 0.85 = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot 0.85$$

onde, na realidade 0.85 deveria depender de cada caso

91

Premissas

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural segundo a
NBR6118:2007

$$\beta = \beta_1 * \beta_2 = 1,17 * 0,73 = 0,85$$

$\beta_1 = 1.17 \rightarrow$ crescimento relativo da resistência de 28dias a 50anos

$\beta_2 = 0,73 \rightarrow$ decréscimo relativo da resistência à compressão do concreto devido à carga aplicada aos 28dias e mantida até 50anos

92

Premissas

Como **crece** a
resistência com o tempo
a partir de 28 dias ?

93

onde j é a idade do concreto em dias.

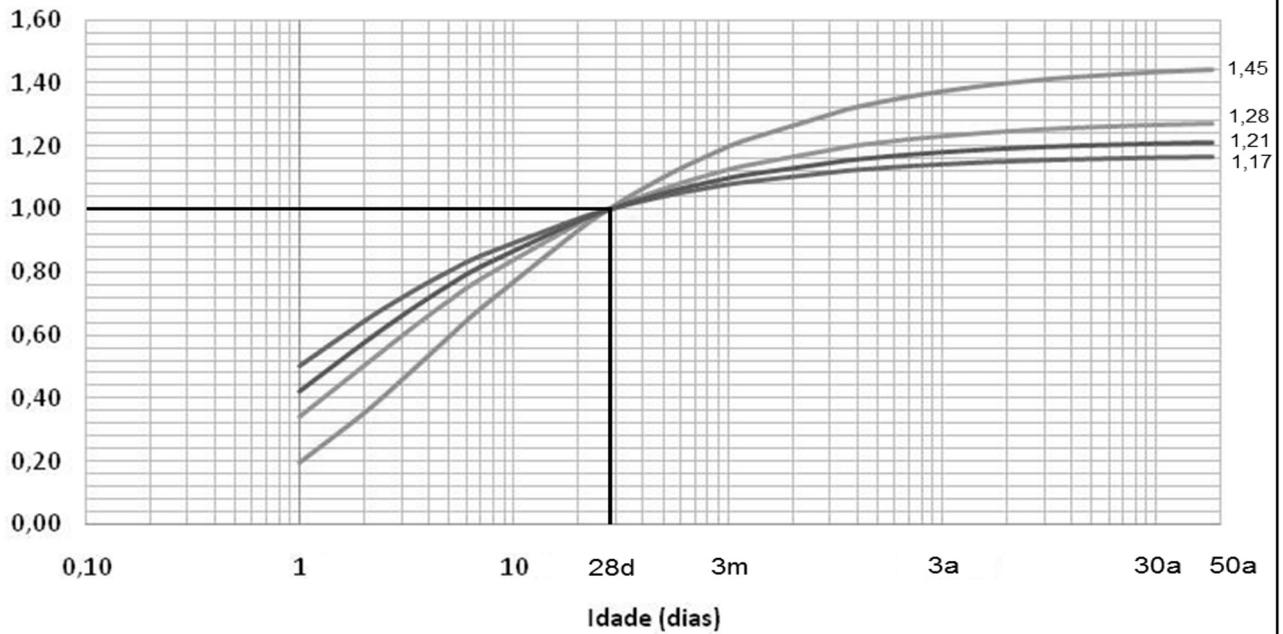
Crescimento da Resistência

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

CPV ARI	$s = 0,20$	1,21 → 50anos	1,15 → 1ano	1,05 de 1ano a 50anos
CP I / II	$s = 0,25$	1,28 → 50anos	1,20 → 1ano	1,07 de 1ano a 50anos
CP III / IV	$s = 0,38$	1,45 → 50anos	1,32 → 1ano	1,10 de 1ano a 50anos
NBR 6118	$s = 0,16$	1,17 → 50anos	1,11 → 1 ano	1,05 de 1ano a 50anos

94

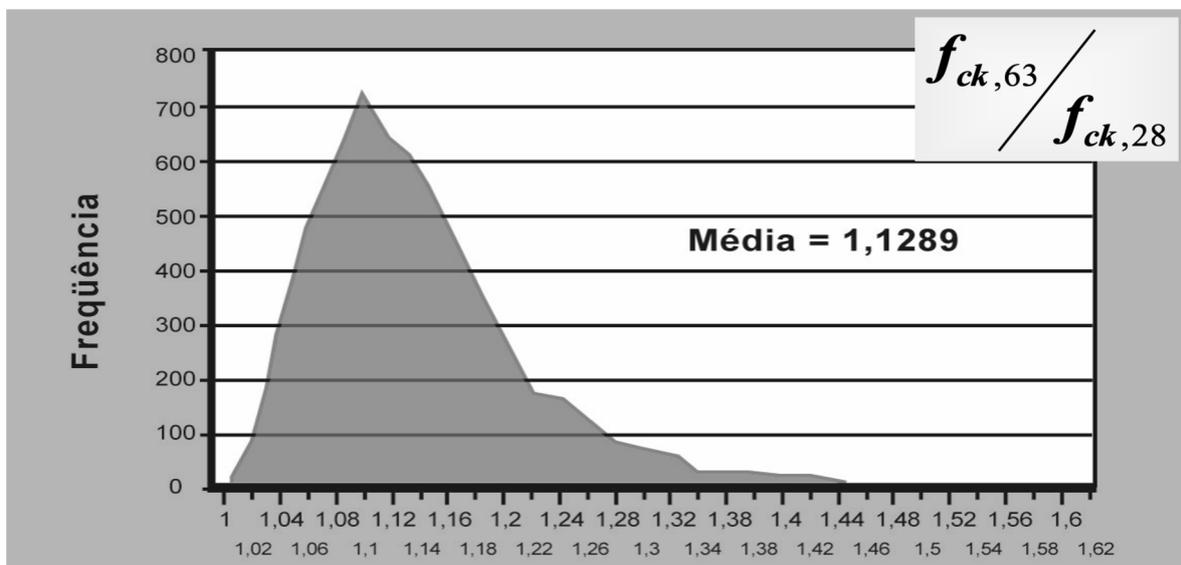
Evolução do crescimento da resistência do concreto sem carregar



95

Análise Geral

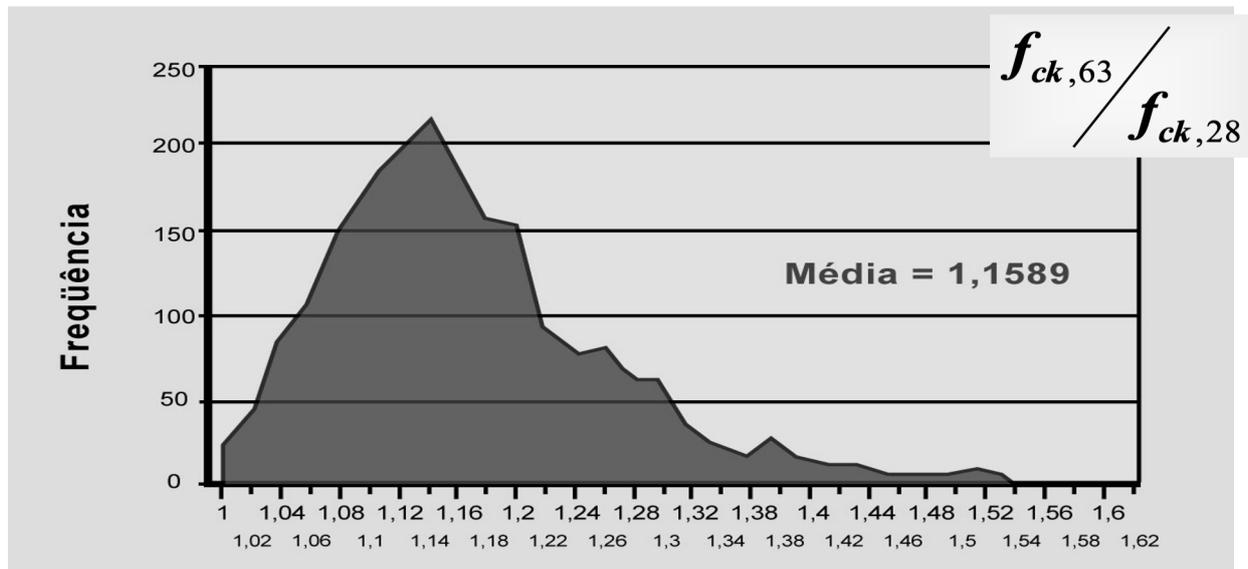
8.429 Registros Analisados, todos os cimentos



96

Análise

2.046 Registros Analisados, CP III



97

**Como decresce a
resistência com o
tempo a partir de
28dias ?**

98

Relaxação das Resistências (efeito Rüsçh)

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

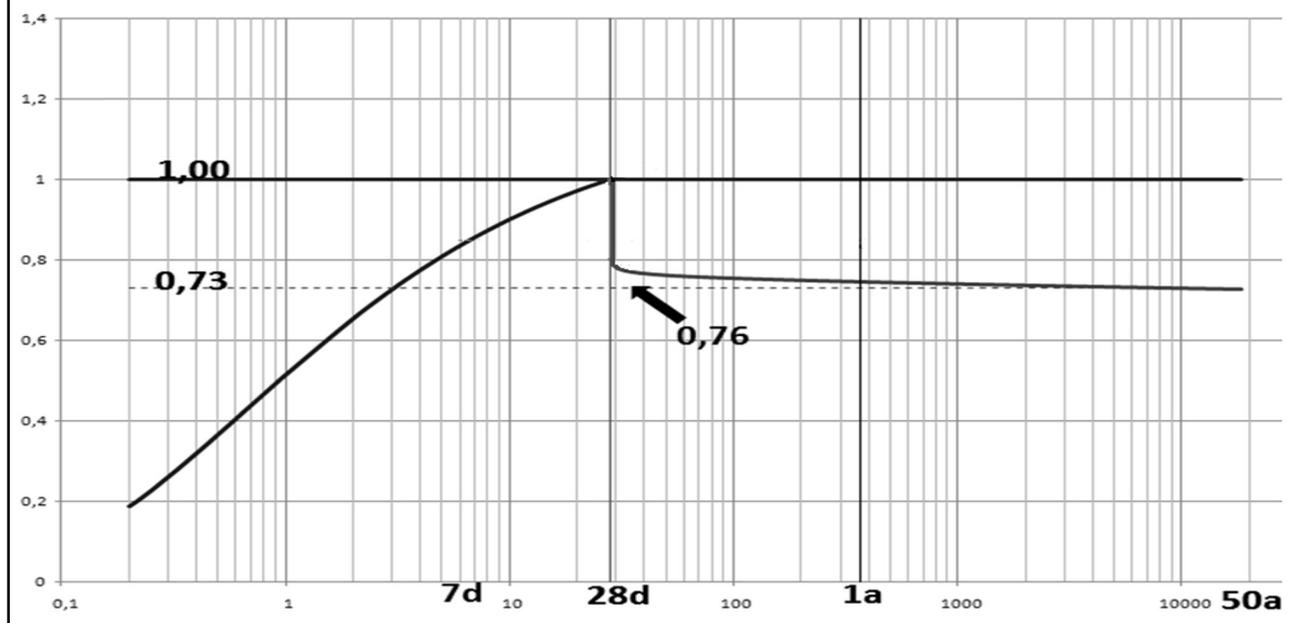
→ j em dias

→ t_0 → idade de aplicação das cargas

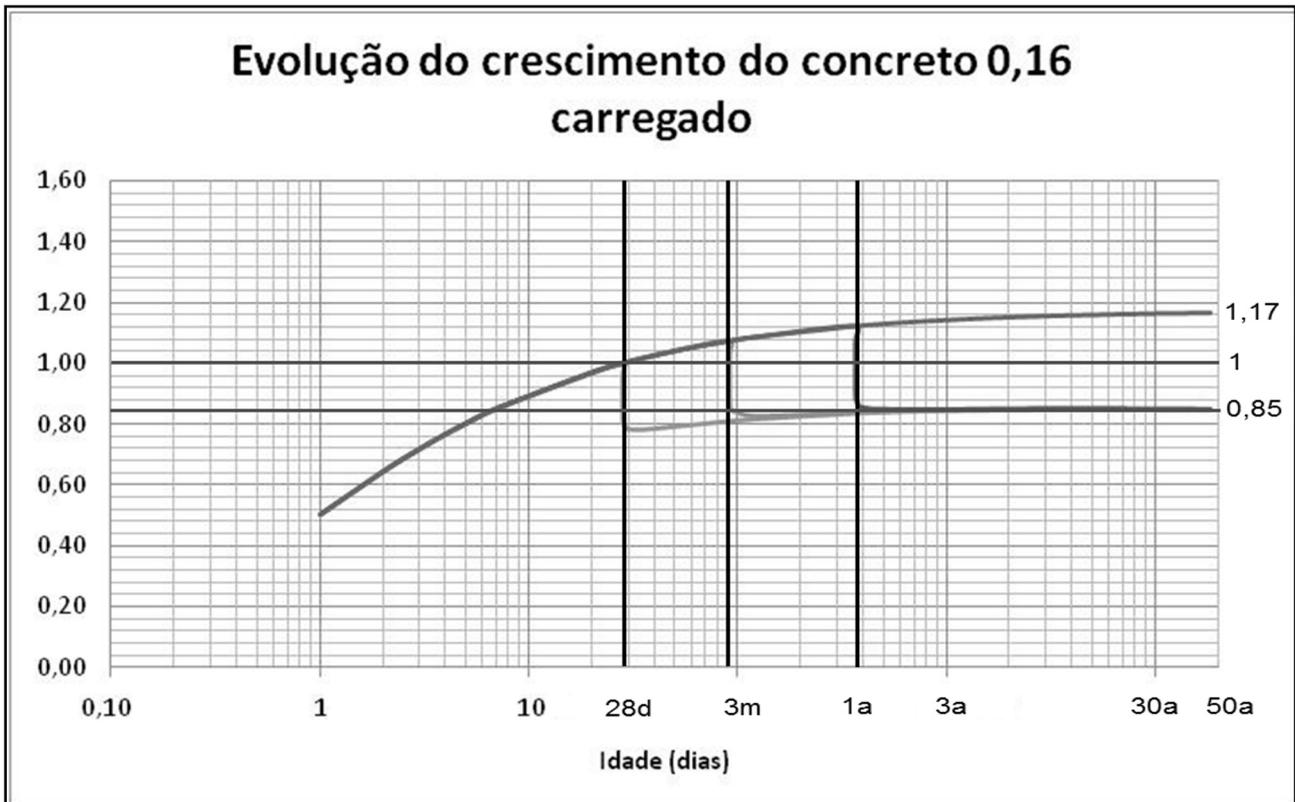
→ $j - t_0 > 15$ minutos

99

Decréscimo da Resistência



100

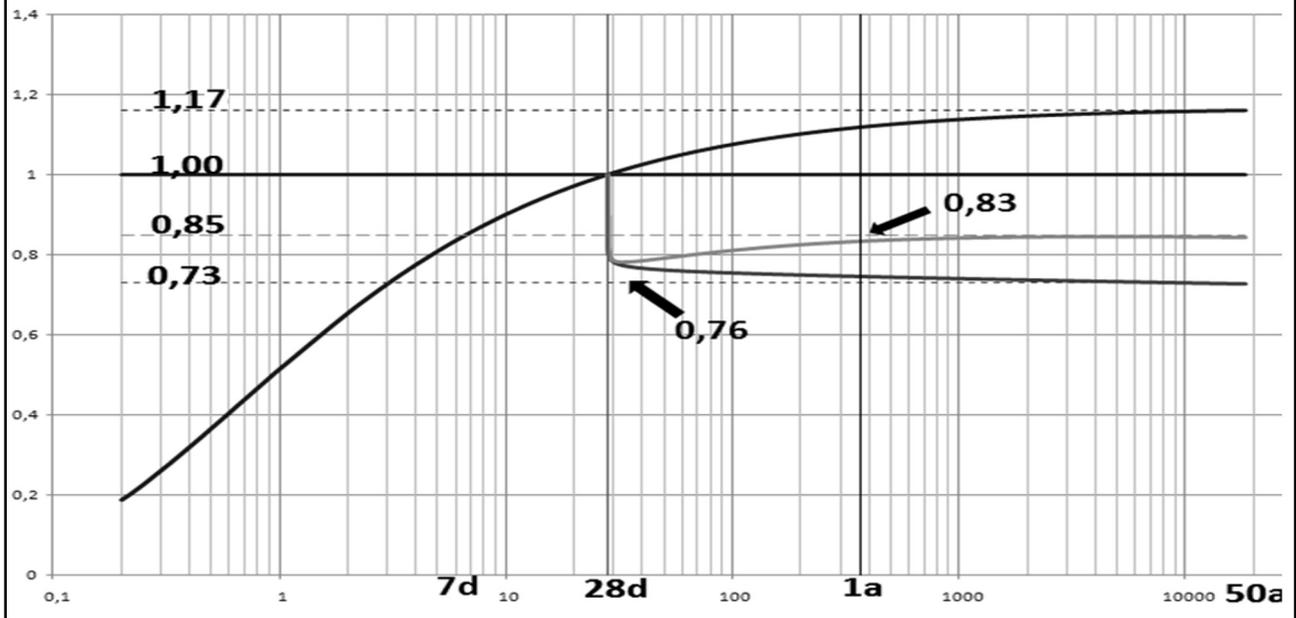


101

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

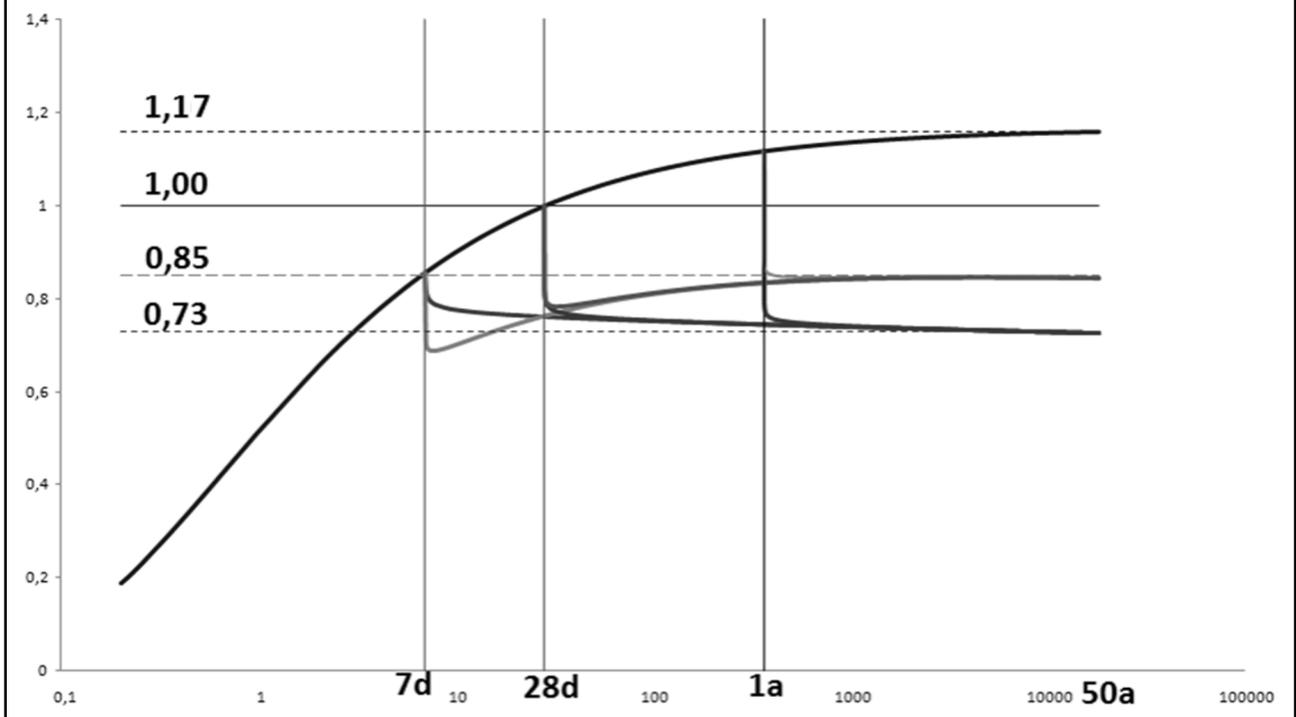
102

Resistência do Concreto “carregado” a 28dias



103

Evolução do crescimento da resistência do concreto carregado aos 7, 28 dias e 1 ano de idade



104

Coeficiente → idade

$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = e^{0,16 * (1 - \sqrt{\frac{28}{j}})}$$

para regredir de j dias a 28 dias

105

Coeficiente → “Rüsch”

1. não foi carregado... despreza esta correção
2. foi carregado [50% carga projeto]... considera esta correção

$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = 0,96 - 0,12 * \sqrt[4]{\ln\{72 * (j - 28)\}}$$

para regredir de j dias a 28 dias

106

Problema → Comercial

$$f_{ci,ext,pot} = f_{ci,ext} * k_7 * k_8 * k_9$$

$f_{ci,ext}$ → relatório de ensaio

107

7.2. Recebimento definitivo do concreto ou avaliação do concreto entregue

Para a avaliação da qualidade do concreto entregue, devem ser considerados todos os resultados emitidos pelo laboratório de ensaios, já corrigidos pelos coeficientes k_1 a k_6 . Esses resultados devem ainda ser corrigidos pelos coeficientes k_7 , k_8 e k_9 de forma a serem obtidos os valores de $f_{ci,ext,pot}$, como dado na equação a seguir:

$$f_{ci,ext,pot} = f_{ci,ext} \times k_7 \times k_8 \times k_9$$

Para efeitos do recebimento definitivo do concreto, nos casos de não conformidade aos critérios da ABNT NBR 12655, deve ser considerado para comparação com f_{ck} o maior valor de resistência dos testemunhos extraídos de cada lote $f_{c,ext,pot}$, corrigidos pelos coeficientes dados nesta Norma, conforme critério estabelecido na seção 6.

O concreto deve ser recebido quando se obedecer à seguinte relação:

$$f_{ck,ext,pot} \geq f_{ck}$$

Onde:

$f_{ck,ext,pot}$ é o maior valor de $f_{ci,ext,pot}$ de cada lote.

108

5.2.8. Cura (k_7)

O processo de cura deve ser realizado conforme a ABNT NBR 14931 e evidenciado por terceiro independente ou por comprovação de procedimento e registros de evidências da empresa construtora. No caso de testemunhos extraídos de elementos estruturais submetidos a cura deficiente, ou seja, não cumprindo os requisitos da ABNT NBR 14931, emprega-se $k_7 = 1,10$. Nos outros casos $k_7 = 1,00$.

5.2.9. Retirada precoce de escoramentos (k_8)

O processo de retirada do escoramento deve ser realizado conforme a ABNT NBR 14931 e evidenciado por terceiro independente ou por comprovação de procedimento e registros de evidências da empresa construtora. No caso de testemunhos extraídos de elementos estruturais que sofreram descimbramentos precoces, ou seja, não cumprindo os requisitos da ABNT NBR 14931, emprega-se $k_8 = 1,11$. Nos outros casos $k_8 = 1,00$.

5.2.10. Idade de ensaio (k_9)

Para regressão dos resultados obtidos a idades j , maiores que 28 dias deve ser efetuada a correção pelo crescimento da resistência do concreto pela equação a seguir ou usando os valores da Tabela 4:

$$k_9 = e^{-0,20 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28}{j}}\right)}$$

109

Problema → Comercial

$$f_{ci,ext,pot} = f_{ci,ext} * k_7 * k_8 * k_9$$

$$f_{ci,ext,pot} > f_{ck}$$

110

Conformidade do Concreto

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

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

111

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...”***

112



113



114