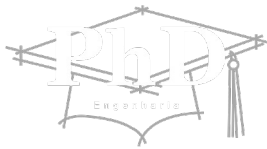


Análisis de la Resistência del Concreto em Estruturas Existentes



Paulo Helene

*Presidente ALCONPAT Internacional
fib (CEB-FIP) Member of Model Code for Service Life
Prof. Titular da Universidade de São Paulo USP
Diretor PhD Engenharia
Conselheiro IBRACON*

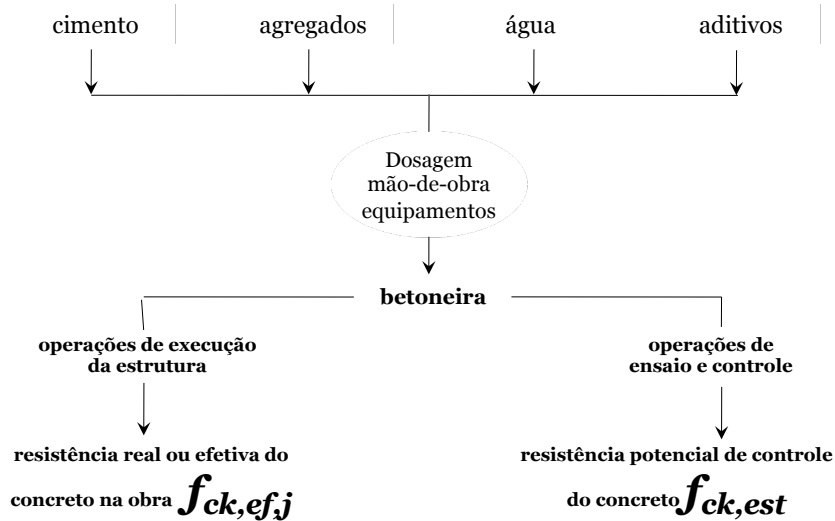
Instituto de Engenharia SP

24 de Março de 2011

São Paulo

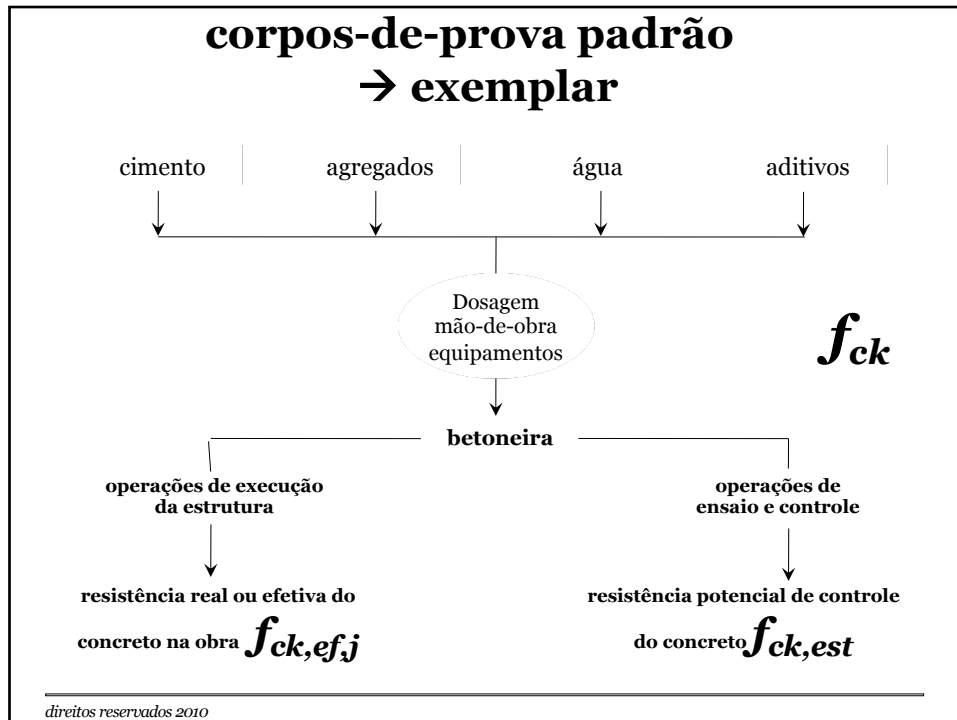
1

corpos-de-prova padrão → exemplar

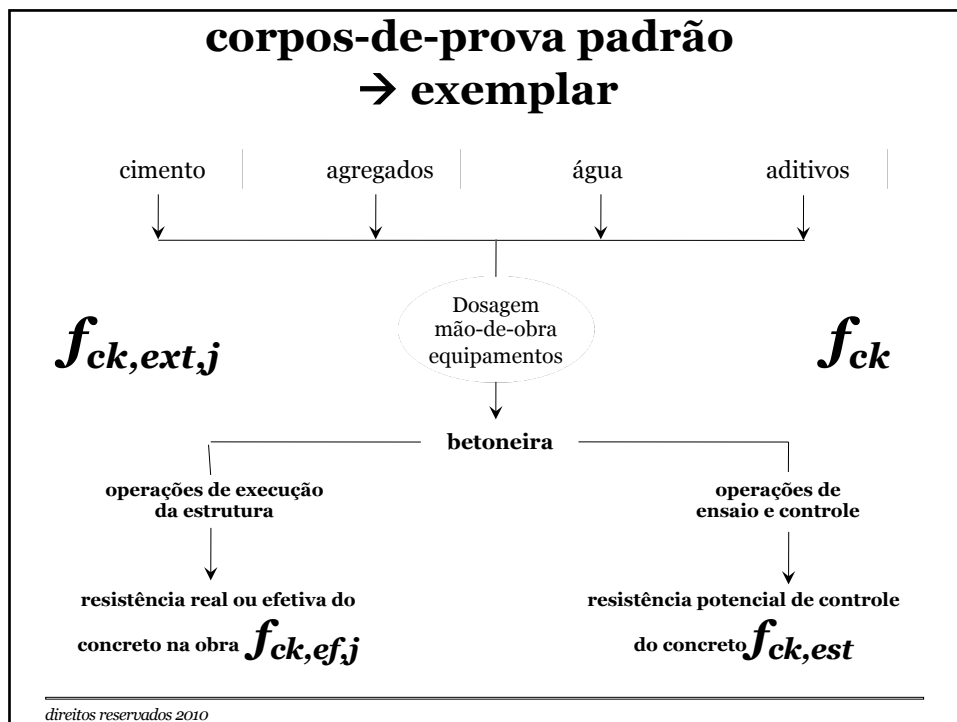


direitos reservados 2010

2



3



4

razões	escopo	ações
$f_{ck,est} < f_{ck}$	qual o novo f_{ck} para verificação da segurança estrutural	trata-se de transformar o resultado de $f_{c,ext,j}$ num f_{ck} equivalente
concreto não conforme com o especificado	analisar o concreto para comparar com o especificado / pedido	trata-se de pesquisar se a composição, traço, resistência e outras características e propriedades do concreto entregue
concreto exposto a meio agressivo	analisar características e propriedades do concreto determinantes da vida útil	trata-se de uma análise complexa de ciclo de vida do concreto naquele meio
qualidade da execução da estrutura	analisar homogeneidade do concreto, geometria, tolerâncias	trata-se de uma aferição da qualidade das concretagens e precisão da execução frente às tolerâncias de norma
perícia	inspeção e diagnóstico para esclarecer um problema patológico	trata-se de esclarecer um colapso parcial ou total, um problema patológico grave, uma flecha exagerada, etc.
mudança de uso, retrofit	avaliar o estado atual da estrutura	trata-se de uma análise tipo “as built” da estrutura.

5

razões	escopo	ações
$f_{ck,est} < f_{ck}$	qual o novo f_{ck} para verificação da segurança estrutural	trata-se de transformar o resultado de $f_{c,ext,j}$ num f_{ck} equivalente
concreto não conforme com o especificado	analisar o concreto para comparar com o especificado / pedido	trata-se de pesquisar se a composição, traço, resistência e outras características e propriedades do concreto entregue
concreto exposto a meio agressivo	analisar características e propriedades do concreto determinantes da vida útil	trata-se de uma análise complexa de ciclo de vida do concreto naquele meio
qualidade da execução da estrutura	analisar homogeneidade do concreto, geometria, tolerâncias	trata-se de uma aferição da qualidade das concretagens e precisão da execução frente às tolerâncias de norma
perícia	inspeção e diagnóstico para esclarecer um problema patológico	trata-se de esclarecer um colapso parcial ou total, um problema patológico grave, uma flecha exagerada, etc.
mudança de uso, retrofit	avaliar o estado atual da estrutura	trata-se de uma análise tipo “as built” da estrutura.

6

Preliminares

IBRACON

→ *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

direitos reservados 2010

7

Preliminares

IBRACON

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 daria um volume total 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.

direitos reservados 2010

8

Preliminares

IBRACON

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 !

direitos reservados 2010

9

Definições

IBRACON

f_{cd} → resistência de cálculo do concreto à compressão adotada no projeto

σ_{cd} → tensão de cálculo do concreto à compressão adotada no projeto

f_{ck} → resistência característica do concreto à compressão especificada no projeto estrutural (28dias)

$f_{ck,est}$ → resistência característica do concreto à compressão estimada a partir de cps moldados (28 dias)

$f_{c,ext,j}$ → resistência do concreto à compressão obtida a partir de testemunhos extraídos na idade j (dias)

direitos reservados 2010

10

Normatização Internacional

IBRACON

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.*

direitos reservados 2010

11

Normatização Internacional

IBRACON

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.*

direitos reservados 2010

12

*fib(CEB-FIP) Model Code 2010. Draft Model Code.
March 2010. Bulletin 55. v.1*

IBRACON

PAGE 41 → reliability target index (β) recommended and suggested

limit state	safety formats	reference period	new structures	existing structures	observações
serviceability	probabilistic safety format	50years	$\beta = 1,5$	nihil	mantém o mesmo critério de verificação da segurança
	partial safety factor format	residual service life		$\beta = 1,5$	
ultimate	probabilistic safety format	50years	$3,1 \leq \beta \leq 4,3$	$3,1 \leq \beta \leq 3,8$	permite reduzir a confiabilidade na verificação da segurança
	partial safety factor format	50years	$\beta = 3,8$	$3,1 \leq \beta \leq 3,8$	

direitos reservados 2010

14

*fib(CEB-FIP) Model Code 2010. Draft Model Code.
March 2010. Bulletin 55. v.1*

IBRACON

interesting clauses

PAGE	Model Code	Model Code comments	Observações
79	when assessing existing structures, reconsiderations of the design values of the basic variables may be required. guidance is given in subclauses 4.5.14.1 representation of actions to 4.5.1.4.4 representation of geometrical quantities	nihil	no caso de estruturas existentes recomenda levar em conta as ações efetivas, principalmente peso próprio e as dimensões geométricas, posição de armadura, etc.
93	Table 4.5.7 → f_{cd} $\gamma_c = 1,5$ (persistent/transient) $\gamma_c = 1,2$ (accidental)	...they might be reduced by 0,1 if the tolerances are reduced by 50%...mainly when analyzing existing structures...	recomenda reduzir o γ_c de 0,1
103	safety factor for model uncertainty γ_{Rd}	$\gamma_{Rd} = 1,0$... is the case of assessment of an existing structure...	recomenda não majorar o coeficiente global

direitos reservados 2010

15

*fib(CEB-FIP) Model Code 2010. Draft Model Code.
March 2010. Bulletin 55. v.1*

IBRACON

PAGE 111 → Table 5.1.3 Concrete Classification

class	C12	C20	C30	C40	C50	C60	C70	C80	C90	C100	C110	C120
f_{ck}	12	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$f_{ck,cube}$	15	25	37	50	60	75	85	95	105	115	130	140

obs.: considera concretos de $f_{ck} = 120MPa$ enquanto a NBR 6118 limita em $f_{ck} \leq 50MPa$ e adota f_{ck} numa escala de 10MPa enquanto a NBR 8953 adota escala de 5MPa até 50MPa.

direitos reservados 2010

16

*fib (CEB-FIP) bulletin n.2. v.2. July 1999. Structural
Concrete. updating CEB/FIP Model Code 90, item 6.3 p.59*

IBRACON

PAGE 59, item 6.3: Partial safety factors γ_c for concrete

...In the concept of Eurocodes a partial safety factor for concrete γ_c is defined as a value of **1,5**. This safety factor consists of two parts:

First: is the factor $\gamma_M = 1,30$, which considers unfavorable deviation of concrete strength from its characteristic value f_{ck} , model uncertainties, variation of geometrical properties, and the safety level. It is calculated by ... and the part of γ_M which represent the variability of materials properties is $\gamma_{M1} = 1,23$...

...and the remaining part represents the variation of geometrical properties and model uncertainties $\gamma_{M2} = 1,05$...

direitos reservados 2010

17

fib (CEB-FIP) bulletin n.2. v.2. July 1999. Structural Concrete. updating CEB/FIP Model Code 90, item 6.3 p.59

IBRACON

Second: is a conversion factor $\gamma_{conv} = 1,15$, which takes into account the decrease of in-place strength versus the characteristic strength f_{ck} . In the research literature the inverse value of **0,85** often is used... based on the German and Canadian data the 5% fractile of this ratio, $f_{ck,ext} / f_{ck}$ was found as a value of **0,90** for columns and walls and as a value of **0,83** for slabs and beams...

*(portanto do ponto de vista da tecnologia do concreto: $f_c = 1,11$ a $1,20 * f_{c,ext}$ e do ponto de vista da segurança estrutural, o γ_c de $1,5$ passa a ser de $1,30$, o que no Brasil corresponderia a reduzir de $1,4$ a $1,21$).*

direitos reservados 2010

18

fib(CEB-FIP) bulletin n.54. v.4. October 2010. Manual, Textbook on Behavior, Design and Performance. Structural Concrete

IBRACON

PAGE 165 → 8.3.2 Control Methods of Variations in Material Properties

“...in many cases, the damage caused by drilling will influence the performance of structures...like columns where the cross section would be severely reduced by the extraction of a core...”

direitos reservados 2010

19

ISO 13822:2010. Bases for Design Structures. Assessment of Existing Structures. International Organization for Standardization. 2010. 44 p.

IBRACON

Item 6.5 Conversion factors

“...conversion factors reflecting the influence of shape and size effect of specimens, temperature, moisture, duration-of-load effects, ... shall be taken into account...”

Annex F → Target Reliability Level

“...the values given in Table F.1 are intended as illustrations for assessment of existing structures...”

direitos reservados 2010

20

ISO 13822:2010. Bases for Design Structures. Assessment of Existing Structures. International Organization for Standardization. 2010. 44 p.

IBRACON

Table F.1 Illustration of target reliability level

limit states	target reliability index β	reference period
SLS		
reversible	0	remaining working life
irreversible	1,5	remaining working life
Fatigue		
inspectable	2,3	remaining working life
not inspectable	3,1	remaining working life
ULS		
very low consequences	2,3	50years, at least
low consequences	3,1	50years, at least
medium consequences	3,8	50years, at least
high consequences	4,3	50years, at least

direitos reservados 2010

21

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. **IBRACON**

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 „persistent & transient“ and „accidental, design situations are given in Table 2.1N.

These are not valid for fire design for which reference should be made to EN 1992-1-2.

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

direitos reservados 2010

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. **IBRACON**

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

direitos reservados 2010

**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.**

IBRACON

- (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

direitos reservados 2010

24

**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.**

IBRACON

- (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 $\gamma_{s,red2} = 1,45$.
- (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 $\gamma_{s,red3} = 1,35$.

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

direitos reservados 2010

25

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.

IBRACON

(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 $\eta = 0,85$.

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) → $\gamma_c = 1.26$ (equivalente no Brasil)

✓ *a partir de testemunhos extraídos* *revisar adotando:*

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

direitos reservados 2010

26

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

Chapter 9. Item 9.1 → Conversion of core strengths to equivalent in-place strength

IBRACON

$$f_c = F_{h/d} * F_{dia} * F_{mc} * F_d * f_{core}$$

$F_{h/d}$ → depende de h/d ($h/d = 2 \rightarrow 1$ e $h/d \rightarrow 1 \rightarrow 0,87$)

F_{dia} → depende do diâmetro ($f=150mm \rightarrow 0,98$; $f=100mm \rightarrow 1,00$; $f=50mm \rightarrow 1,06$)

F_{mc} → depende do sazramento (padrão = 1,00; submerso $2d = 1,09$; seco $7d = 0,98$)

F_d → correção efeito deletério do broqueamento = 1,06

observar que para um testemunho de diâmetro 5cm, com $h/d=2$ e rompido submerso / saturado, $f_c = 1 * 1,06 * 1,09 * 1,06 * f_{core} \rightarrow f_c = 1,225 * f_{core}$

direitos reservados 2010

27

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

IBRACON

“...where cores are taken to determine strength, the number of cores shall be based on the expected uniformity of the concrete and the desired confidence level in the average strength...

section 3.1.1, item 3.1.1.1 Core Sampling: ...the strength value shall be taken as the average of the cores”

section 3.1.3, item 3.1.3.1 Testing Cores:...depending on age and strength level, compressive strength values obtained from core tests can either be lower or higher than those obtained from standard cylinders molded during construction. For mature concrete the core strength varies from 100% of the cylinder strength for 20MPa concrete to 70% for 60MPa concrete...(corresponde a $f'_c = 1,42 * f_{core}$)

direitos reservados 2010

28

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

IBRACON

...core compression strengths may be expected to be lower for cores removed from the upper parts of slabs, beams, footings, walls and columns than for lower parts of that members...

section 5.1.4 – Acceptance Criteria:...uncertainty about the structure is clearly reduced where fieldwork has established the actual material strengths for steel and concrete...this supporting work can serve as justification for using a different strength-reduction factor Φ . Suggested values of Φ are reported in section 20.2.5 of ACI 318...”

direitos reservados 2010

29

**ACI 318M-08 Building Code Requirements for
Structural Concrete. 2008. 470p.**

Chapter 5. Concrete Quality, Mixing, and Placing

IBRACON

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 $f'_c = 1,18 * f_{core,av}$ ou $f'_c = 1,33 * f_{core,min}$)

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...

30

**ACI 318M-08 Building Code Requirements for
Structural Concrete. 2008. 470p.**

Chapter 20. Strength Evaluation of Existing Structures

IBRACON

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

31

Normatização Internacional

IBRACON

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 $f_c = \lambda * f_{c,ext}$

33

Normatização Internacional

IBRACON

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.

34

sumário

IBRACON

- Revisão da normatização internacional
- Teses de doutorado sobre o tema (Pesquisa)
- Produção do concreto em central (Concreteira)
- Controle da resistência do concreto (Laboratório)
- Execução de estruturas (Construtora)
- Extração de testemunhos (Laboratório)
- Aspectos da tecnologia do concreto
- Considerações sobre a Idade
- Proposta de procedimento

direitos reservados 2010

35

TESE de DOUTORADO

IBRACON

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

direitos reservados 2010

36

OBJETIVO

IBRACON

- 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

direitos reservados 2010

37

EXPERIMENTO

IBRACON

- 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 m³
 - 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

direitos reservados 2010

38

EXPERIMENTO

IBRACON

■ Lajes e (vigas)

- 06 obras → concreto de Central
- cps extraídos das lajes maciças 10cm a 15cm
- 15 lotes (lajes e vigas) → 15 andares
- 8 a 11 caminhões por andar
- volume total de concreto de 1.195 m³
- 2 cps / caminhão → vale maior
- média de 6cps extraídos por lote → 28dias
- média dos n exemplares moldados do lote → 28dias
- 90 cps extraídos 7,5cm x altura laje
- 142 exemplares moldados 10cm x 20cm

direitos reservados 2010

39

RESULTADOS

Lote	$f_c/f_{c,ext}$	Lote	$f_c/f_{c,ext}$	Lote	$f_c/f_{c,ext}$	Lote	$f_c/f_{c,ext}$
OB1L1	1,07	OB4L1	1,14	OB6L3	1,18	OB9L2	1,21
OB1L2	1,25	OB4L2	1,39	OB7L1	1,38	OB9L3	1,29
OB2L1	1,12	OB4L3	1,40	OB7L2	1,19	OB10L1	1,39
OB2L2	1,31	OB5L1	1,05	OB7L3	0,96	OB10L2	1,62
OB2L3	1,18	OB5L2	1,51	OB8L1	1,09	OB10L3	1,05
OB3L1	1,18	OB5L3	1,45	OB8L2	1,02	OB11L1	1,46
OB3L2	1,23	OB6L1	1,17	OB8L3	1,13	OB11L2	1,36
OB3L3	1,33	OB6L2	1,40	OB9L1	0,99	OB12L1	1,11

$f_c/f_{c,ext}$ = relação entre a resistência média de corpos de prova moldados e resistência média de testemunhos

Obras 1 a 6 – Pilares Obras 7 a 12 – Lajes e (vigas)

40

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≠2
	cp_{ext} ortogonal lanç.	cp_{ext} paralelo lanç.

41

Conclusões

IBRACON

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

direitos reservados 2010

42

TESE de DOUTORADO

IBRACON

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

direitos reservados 2010

43

OBJETIVO

IBRACON

- 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

direitos reservados 2010

44



direitos reservados 2010

47



direitos reservados 2010

48



Parede/bloco perfurada

direitos reservados 2010

49

Conclusões

IBRACON

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

2. todos “broqueamento”:

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

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

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

direitos reservados 2010

50

Conclusões das Teses

IBRACON

Efeito deletério do “broqueamento”:

$$f_{ck,est} = f_{ck,ext} \bullet 1,07$$

Efeito deletério do “broqueamento + outras variáveis”:

$$f_{ck,est} = f_{ck,ext} \bullet 1,24$$

direitos reservados 2010

51

sumário

IBRACON

- Revisão da normatização internacional
- Teses de doutorado sobre o tema (Pesquisa)
- Produção do concreto em central (Concreteira)
- Controle da resistência do concreto (Laboratório)
- Execução de estruturas (Construtora)
- Extração de testemunhos (Laboratório)
- Aspectos da tecnologia do concreto
- Considerações sobre a Idade
- Proposta de procedimento

direitos reservados 2010

52

**É 100%
confiável?**

Não !

Produção de concreto em Central (Concreteira) NBR 7212

IBRACON

É um produto / serviço que depende de muitas variáveis:

1. Estudos de dosagem;
 2. Aferição balanças;
 3. Aferição prensas;
 4. Conformidade laboratório;
 5. Agregados (natureza, procedência, armazenamento, coleta);
 6. Cimento (uniformidade, temperatura);
 7. Adições (procedimentos???)
 8. Aditivos (uniformidade, compatibilidade, procedimentos);
 9. Água (aferição higrometro, umidade areia);
 10. Balanceiro (automatizada???)
 11. Motorista;
 12. Bombista
- CUMPLICIDADE !!!!!**

direitos reservados 2010

55

sumário

IBRACON

- Revisão da normatização internacional
- Teses de doutorado sobre o tema (Pesquisa)
- Produção do concreto em central (Concreteira)
- Controle da resistência do concreto (Laboratório)
- Execução de estruturas (Construtora)
- Extração de testemunhos (Laboratório)
- Aspectos da tecnologia do concreto
- Considerações sobre a Idade
- Proposta de procedimento

direitos reservados 2010

56

controle
NBR 12655:2006

IBRACON

**É 100%
confiável?**

direitos reservados 2010

57

controle
NBR 12655:2006

IBRACON

**SIM ! desde
que a 100% !**

direitos reservados 2010

58

controle
NBR 12655:2006

IBRACON

Todas as unidades de produto;
Não é média móvel;
Não é estimativa;
Não é inferência estatística;
Combinado com MAPEAMENTO é 100%:
rastreabilidade

direitos reservados 2010

59

controle
LABORATÓRIO

IBRACON

É 100%
confiável?

direitos reservados 2010

60

controle LABORATÓRIO

IBRACON

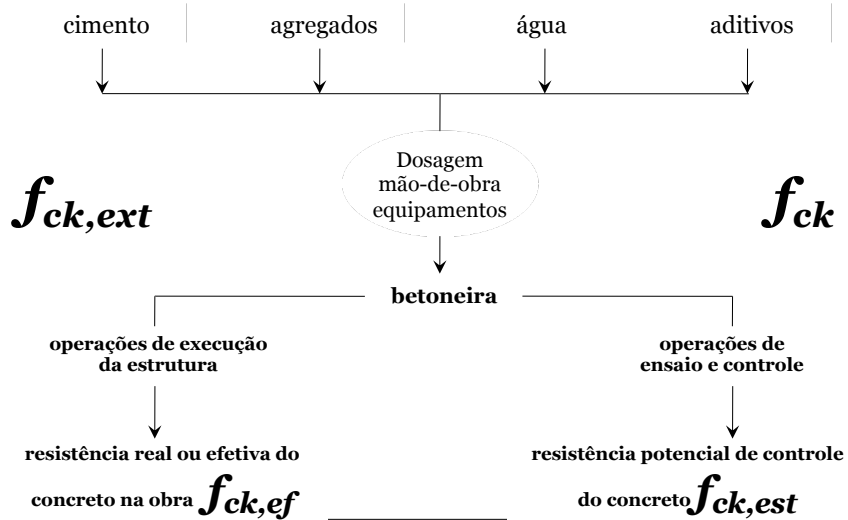
Não !

direitos reservados 2010

61

controle do concreto resistência

IBRACON



direitos reservados 2010

62

Premissas

IBRACON

- Controle de recebimento da resistência do concreto em conformidade com NBR 6118:2003 Projeto de Estruturas de Concreto
- Controle de recebimento da resistência do concreto em conformidade com NBR 12655:2006 Preparo, Controle e Recebimento
- Auto-controle de produção do concreto em conformidade com NBR 12655:2003 Preparo, Controle e Recebimento
- Auto-controle de produção do concreto em conformidade com NBR 7212:1984 Execução de Concreto Dosado em Central

direitos reservados 2010

63

Dúvidas

IBRACON

Apesar de todos esses procedimentos existirem, podem ocorrer dúvidas quanto aos valores obtidos nos controles de aceitação ou recebimento, ou seja, dúvidas sobre $f_{ck,est}$

O resultado final de $f_{ck,est}$ depende:

- da variabilidade da produção;
- da representatividade da amostragem;
- das operações de ensaio

direitos reservados 2010

64

Dúvidas

IBRACON

Portanto é conveniente suspeitar que houve falha nas operações de ensaio de controle sempre que:

- ❖ **a coleta de concreto é feita na entrada da obra;**
- ❖ **os cps são moldados inadequadamente;**
- ❖ os cps são transportados no mesmo dia;
- ❖ os cps ficam no sol;
- ❖ os cps são mal transportados;
- ❖ os resultados não crescem
- ❖ os resultados de irmãos são díspares

direitos reservados 2010

65



66

Dúvidas

IBRACON

Portanto é conveniente suspeitar que houve falha nas operações de ensaio de controle sempre que:

- ❖ a coleta de concreto é feita na entrada da obra;
- ❖ **os cps são transportados no mesmo dia;**
- ❖ **os cps ficam no sol;**
- ❖ **os cps são mal transportados;**
- ❖ os resultados não crescem
- ❖ os resultados de irmãos são díspares

direitos reservados 2010

67



68



69

Dúvidas

IBRACON

Portanto é conveniente suspeitar que houve falha nas operações de ensaio de controle sempre que:

- ❖ a coleta de concreto é feita na entrada da obra;
- ❖ os cps são transportados no mesmo dia;
- ❖ os cps ficam no sol;
- ❖ os cps são mal transportados;
- ❖ **os resultados não crescem;**
- ❖ **os resultados de irmãos são díspares**

direitos reservados 2010

70

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	
coeficiente variação em %			7.7	4.8	

71

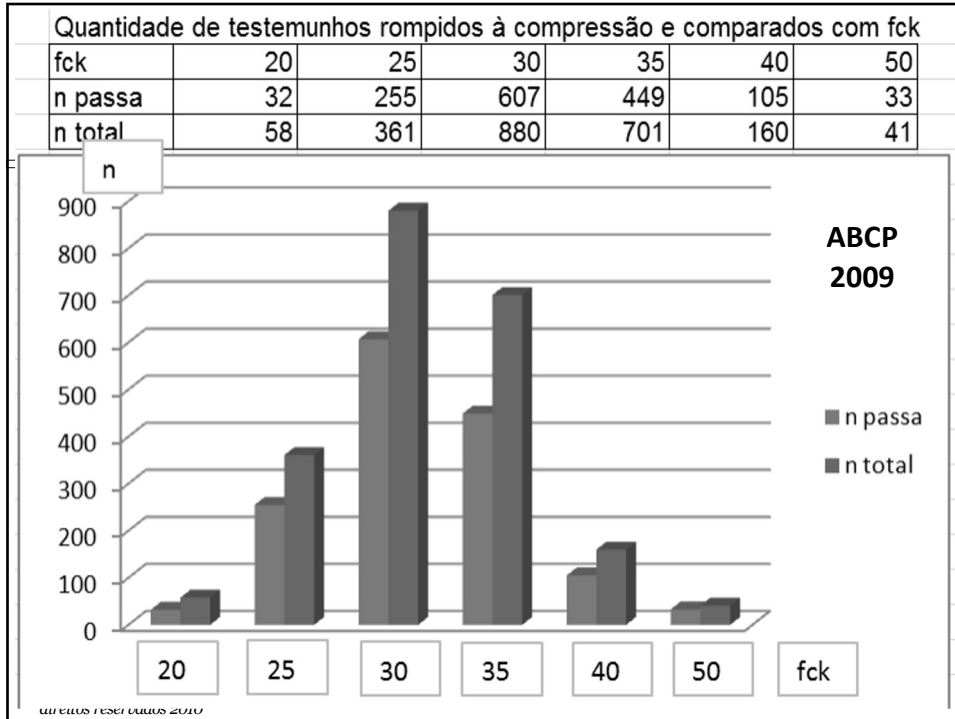
Dúvidas

IBRACON

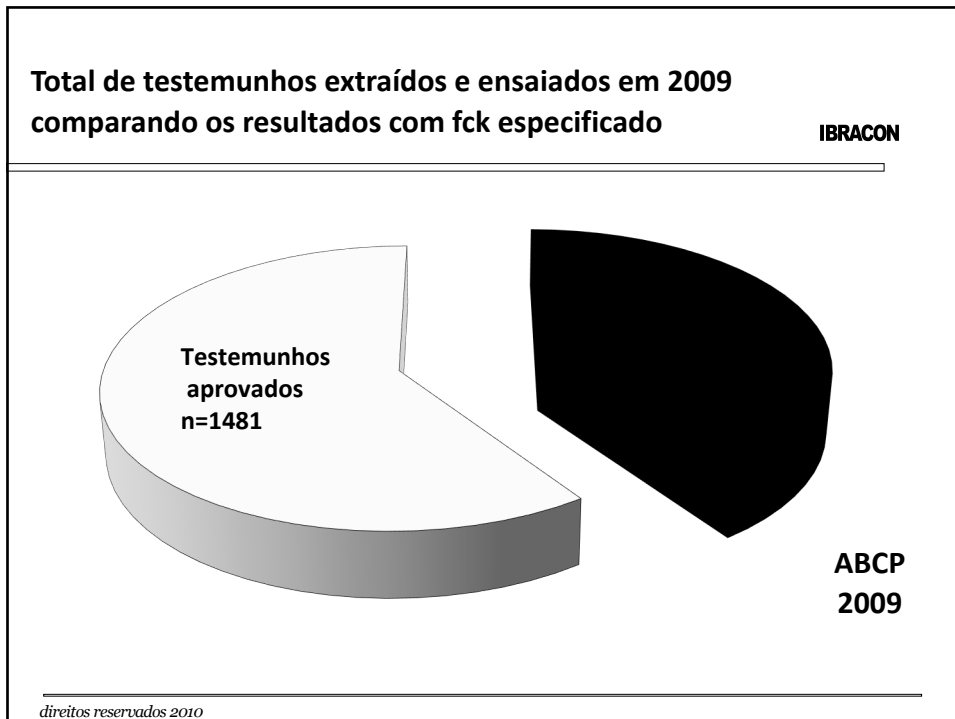
testemunhos extraídos que demonstraram que o resultado do corpo-de-prova de controle nem sempre é confiável

direitos reservados 2010

72



73



74

sumário

IBRACON

- Revisão da normatização internacional
- Teses de doutorado sobre o tema (Pesquisa)
- Produção do concreto em central (Concreteira)
- Controle da resistência do concreto (Laboratório)
- Execução de estruturas (Construtora)
- Extração de testemunhos (Laboratório)
- Aspectos da tecnologia do concreto
- Considerações sobre a Idade
- Proposta de procedimento

direitos reservados 2010

75

execução de estruturas CONSTRUTORA

IBRACON

É 100%
confiável?

direitos reservados 2010

76



ACON

Descrição: Pilares concretados até o nível do fundo da viga mais alta, e nas vigas mais baixa (fundo mais alto) a junta tinha esse aspecto.

77



IBRACON

direitos reservados 2010

78



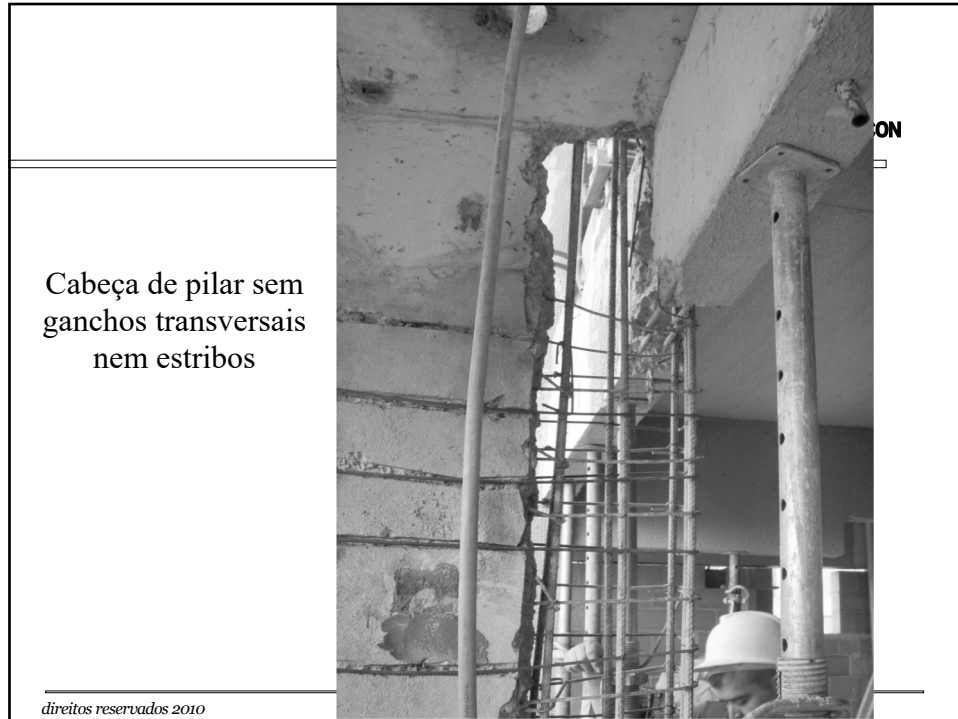
Descrição: Falta de estribos na região da viga. Barras longitudinais dos pilares “soltas” e sujeitas a flambagem nessa região.

79



direitos reservados 2010

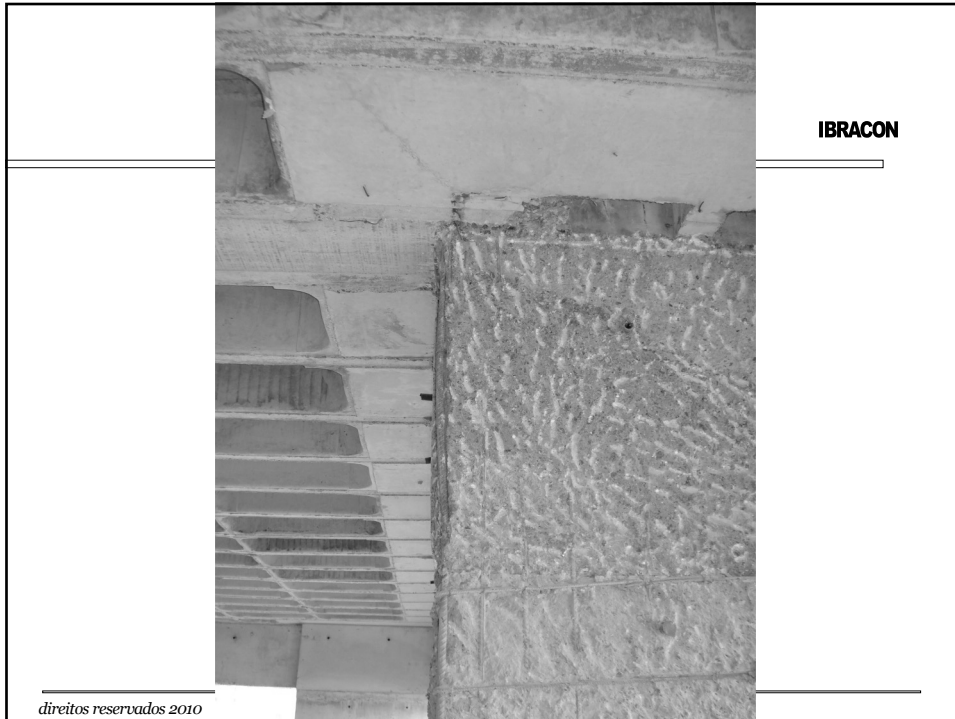
80



81



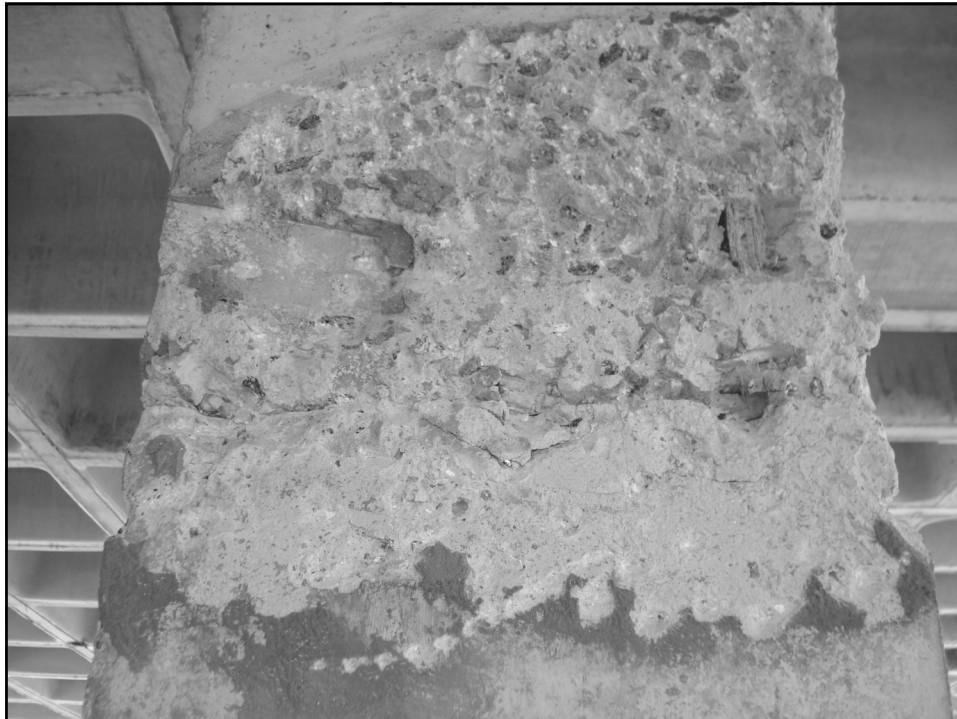
82




83



84



85



IBRACON

Descrição: Desvio na geometria do pilar e consequente falta de transpasse da barra periférica.

86



87



88



CON

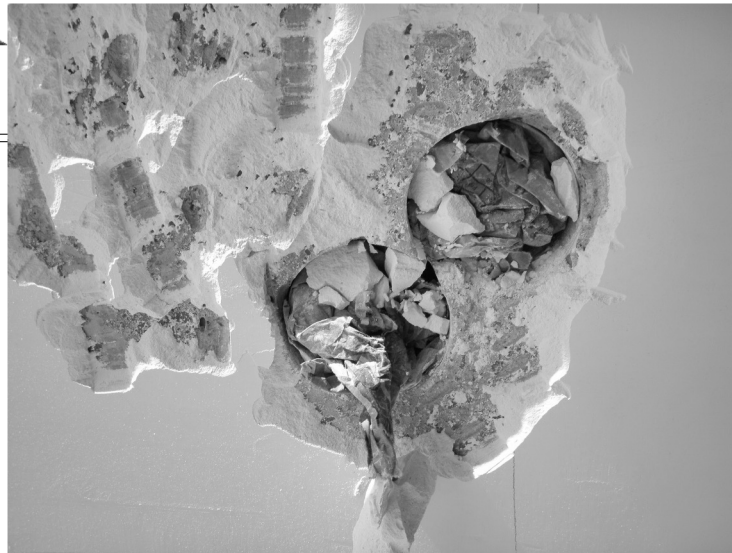
Descrição: Extração com distâncias fora de norma (mínimo 1 diâmetro) e rompimento de armadura longitudinal.

89



direitos reservados 2010

90



CON

Descrição: Furos preenchidos incorretamente com papel e gesso!!! Só foi descoberto pois foi solicitado escarificação do pilar para novas extrações.

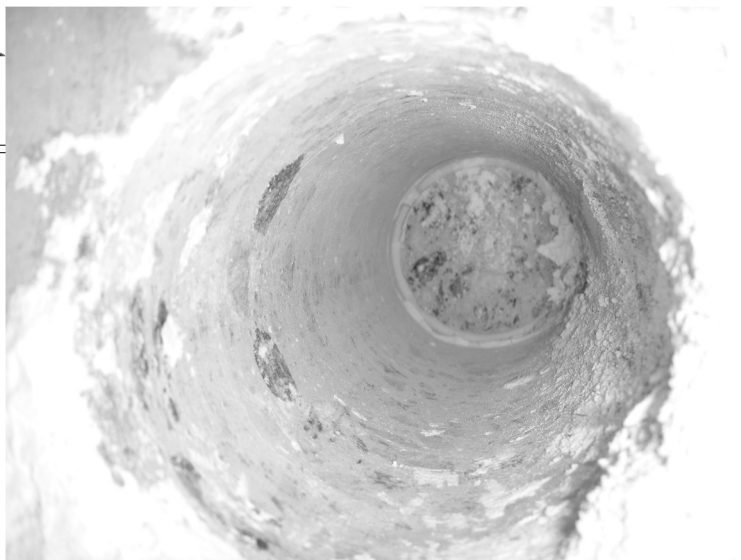
91



IBRACON

Descrição: Furos preenchidos incorretamente com papel e gesso!!! Só foi descoberto pois foi solicitado escarificação do pilar para novas extrações.

92



ON



Descrição: Furos preenchidos incorretamente com papel e gesso!!! Só foi descoberto pois foi solicitado escarificação do pilar para novas extrações.

93

testemunhos extraídos

Pontos para Discussão

IBRACON

Muitas vezes uma diferença de 3MPa nos testemunhos ou corpos-de-prova moldados tornam-se motivo de intransigências enquanto nas obras é comum:



94

testemunhos extraídos

Pontos para Discussão

IBRACON



direitos reservados 2010

95

testemunhos extraídos

Pontos para Discussão

IBRACON



direitos reservados 2010

96

testemunhos extraídos

Pontos para Discussão

IBRACON



direitos reser

97

testemunhos extraídos

Pontos para Discussão

IBRACON



direitos reservados 2010

98

sumário

IBRACON

- Revisão da normatização internacional
- Teses de doutorado sobre o tema (Pesquisa)
- Produção do concreto em central (Concreteira)
- Controle da resistência do concreto (Laboratório)
- Execução de estruturas (Construtora)
- Extração de testemunhos (Laboratório)
- Aspectos da tecnologia do concreto
- Considerações sobre a Idade
- Proposta de procedimento

direitos reservados 2010

99

NBR 7680:2006

IBRACON

Testemunhos Extraídos

obs.: sempre uma avaliação de $f_{ck,ef}$ muito melhor, mais fiel!

direitos reservados 2010

100

testemunhos extraídos

NBR 7680:2007; NBR 12655:2006

IBRACON

- ✓ cilíndrico, cúbico ou prismático;
- ✓ testemunhos devem ser íntegros (descartar → vazios, ninhos, madeira, armadura, falhas, fissuras, ...);
- ✓ f_c deve ser superior a 8MPa na ocasião da extração;
- ✓ $\Phi \geq 75\text{mm}$ e sempre $\Phi \geq 3D_{max}$ do agregado (mini-cilindros?);
- ✓ recomendações rigorosas com relação aos equipamentos e operações de extração... cuidados! (água, fixação, ortogonalidade, quebra, transporte, sazonalidade, corte, capeamento, retificação, ensaio,...)
- ✓ $1 \geq h/\Phi \geq 2$ (evitar montagem...Anexo A permite...)
- ✓ secos ao lab. ou saturados sup. seca → ambos 48h
- ✓ *ensaio com total desagregação, observar e registrar com fotos*

direitos reservados 2010

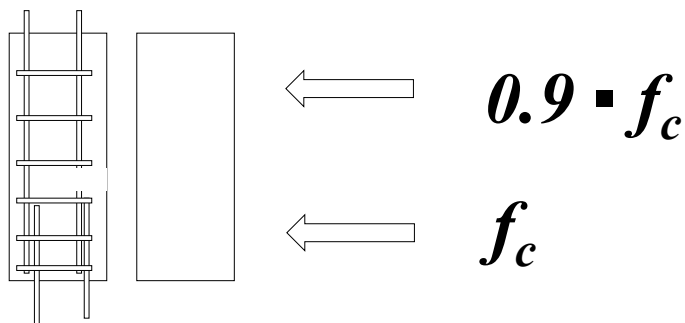
101

testemunhos extraídos

NBR 7680:2007; NBR 12655:2006

IBRACON

- ✓ não cortar armadura (pacômetro);
- ✓ evitar extrair de lajes, dar preferência a vigas;
- ✓ pilares evitar topo e pé, extrair logo acima dos arranques;
- ✓ pilares evitar extrair mais de um, se necessário mesma prumada;



direitos reservados 2010

102

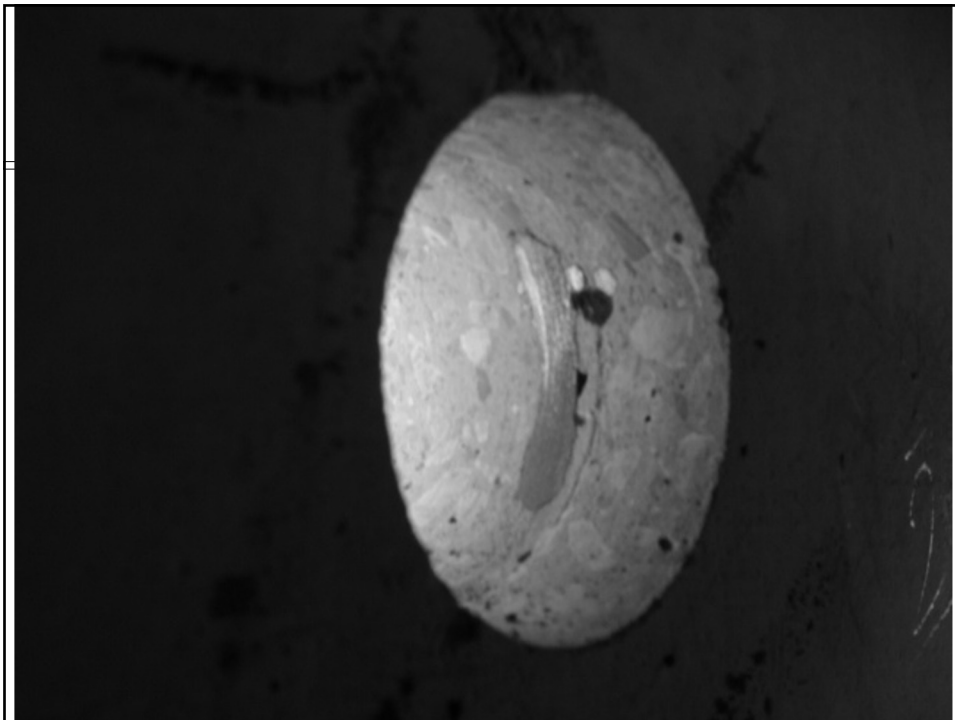
**extração de testemunhos
LABORATÓRIO**

IBRACON

**É 100%
confiável?**

direitos reservados 2010

103



104



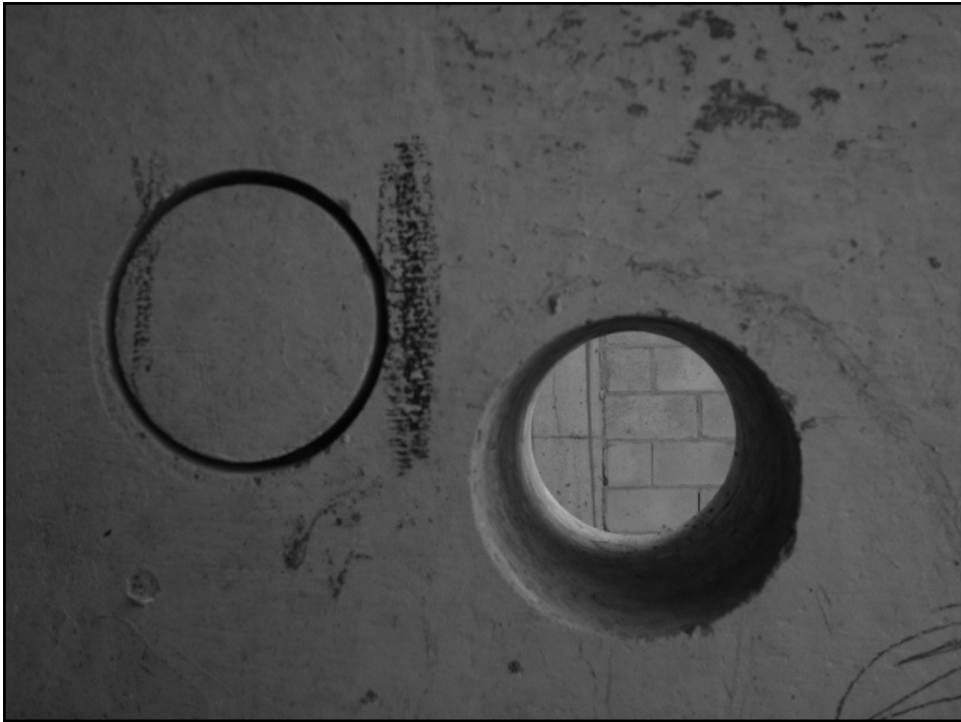
105



106



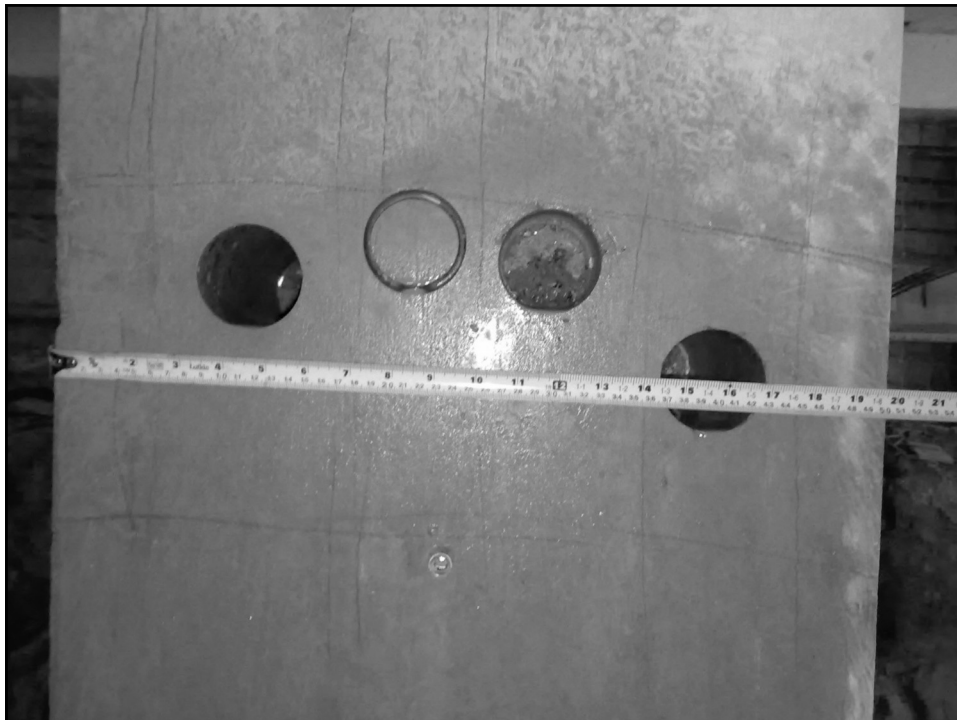
107



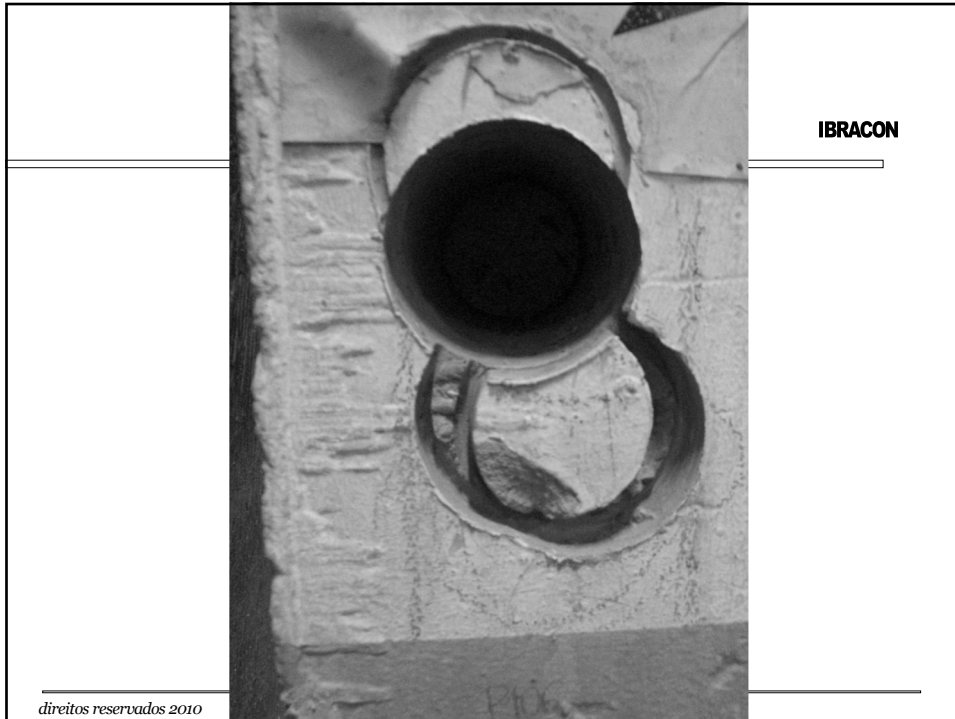
108



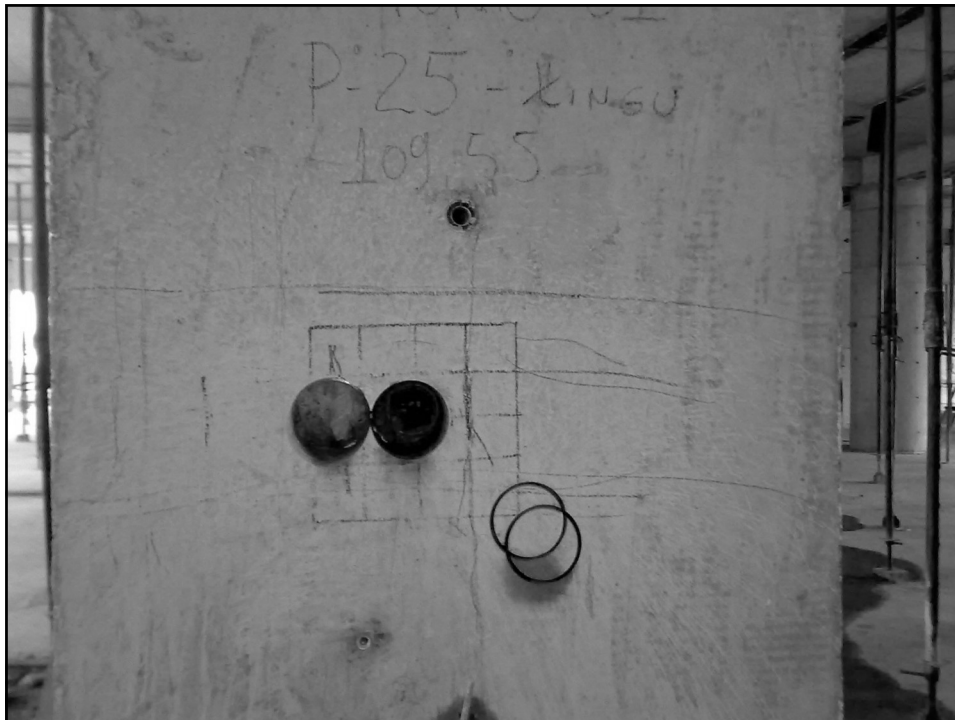
109



110



111



112



113



114



115



116



117



118



119



120



direitos reservados 2010

121



122



123



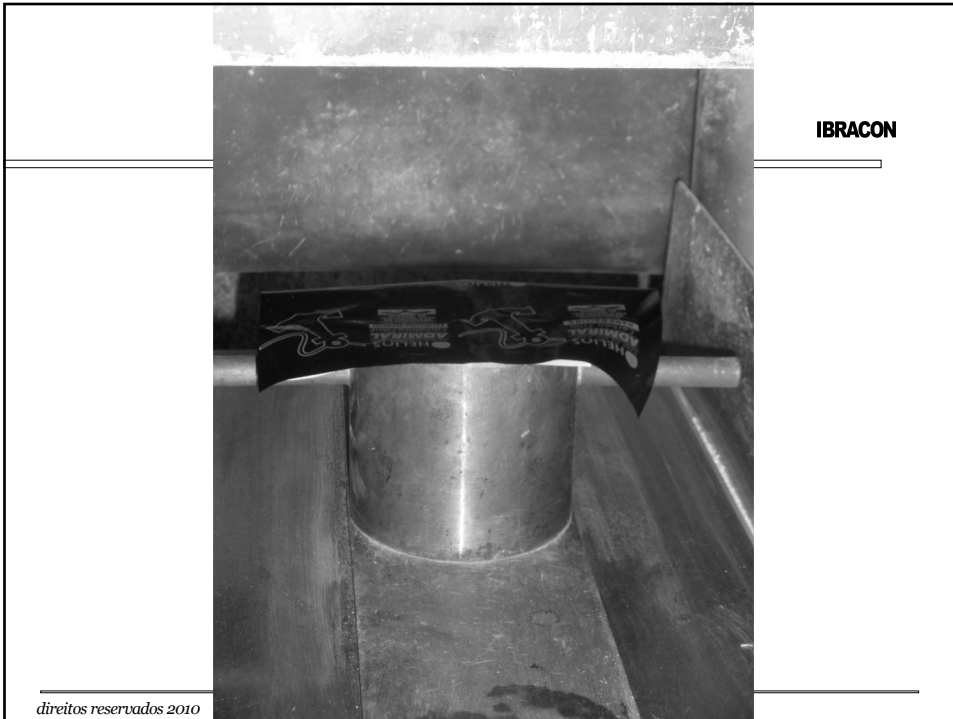
124



125



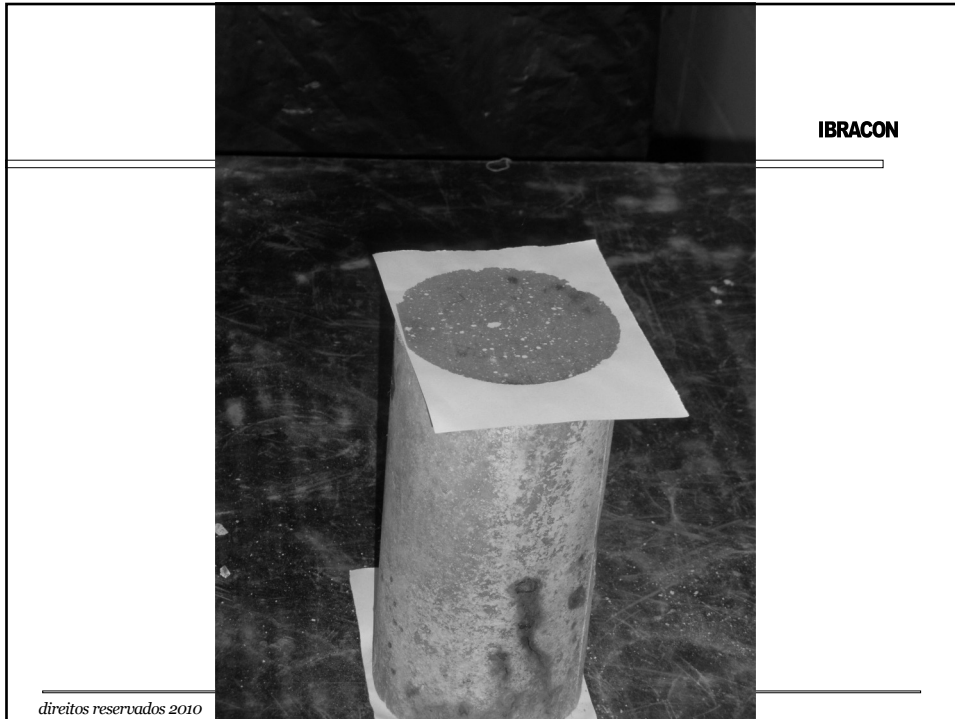
126



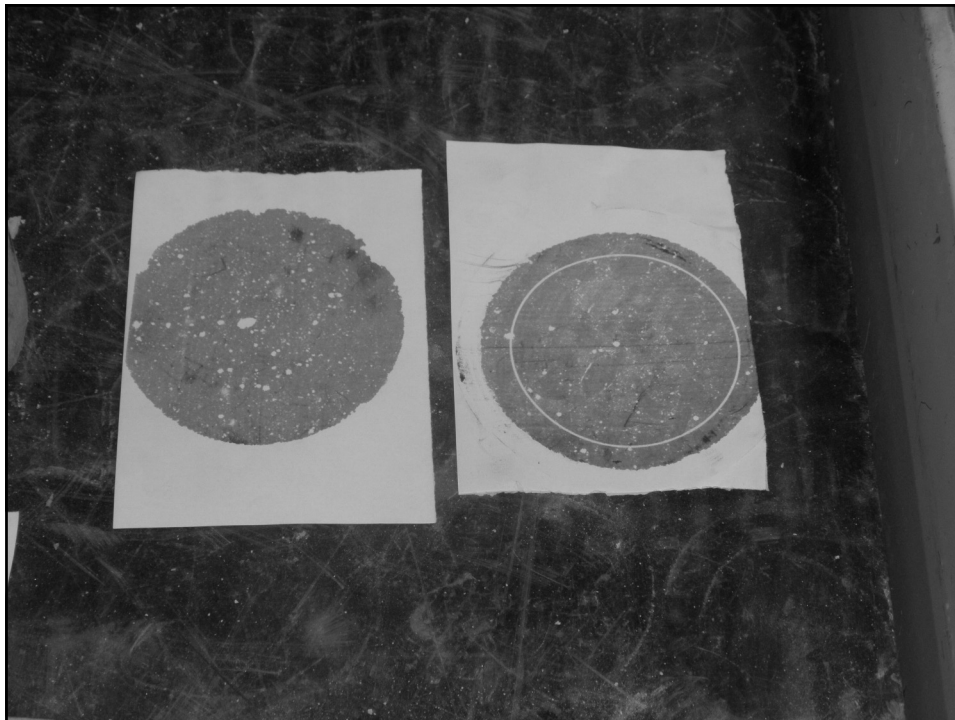
127



128



129



130

testemunhos extraídos

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

IBRACON

pilar	c. betoneira 1	c. betoneira 2	c. betoneira 3
P11	29.5	30.9	28.7
P12	31.6	32.2	32.6
P13	33.0	34.2	33.7
P11	34.3	34.5	35.3
P14	35.2	35.1	35.4
P14	35.4	35.6	35.6
P13	35.9	36.8	35.7
P12	37.4	37.2	36.7
P15	37.7	37.3	36.9
P16	37.9	38.5	38.7
f_{cm} (MPa)	34.8	35.2	34.9
s_c (MPa)	2.8	2.4	2.8
v_c (%)	8%	7%	8%
$f_{ck,est}$ (MPa)	29.0	30.8	29.7

direitos reservados 2010

131

testemunhos extraídos

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

IBRACON

pilar	c. betoneira 1	c. betoneira 2	c. betoneira 3
P11	29.5	30.9	28.7
P12	31.6	32.2	32.6
P13	33.0	34.2	33.7
P11	34.3	34.5	35.3
P14	35.2	35.1	35.4
P14	35.4	35.6	35.6
P13	35.9	36.8	35.7
P12	37.4	37.2	36.7
P15	37.7	37.3	36.9
P16	37.9	38.5	38.7
f_{cm} (MPa)	34.8	35.2	34.9
s_c (MPa)	2.8	2.4	2.8
v_c (%)	8%	7%	8%
$f_{ck,est}$ (MPa)	29.0 \rightarrow 31.9	30.8 \rightarrow 33.9	29.7 \rightarrow 32.7

direitos reservados 2010

132

testemunhos extraídos

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

IBRACON

pilar	c. betoneira 1	c. betoneira 2	c. betoneira 3
P11	29.5	30.9	28.7
P12	31.6	32.2	32.6
P13	33.0	34.2	33.7
P11	34.3	34.5	35.3
P14	35.2	35.1	35.4
P14	35.4	35.6	35.6
P13	35.9	36.8	35.7
P12	37.4	37.2	36.7
P15	37.7	37.3	36.9
P16	37.9	38.5	38.7
f_{cm} (MPa)	36.4	36.7	36.5
s_c (MPa)	1.5	1.4	1.3
v_c (%)	4	4	3
$f_{ck,est}$ (MPa)	33.8	33.3	35.2

direitos reservados 2010

133

testemunhos extraídos

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

IBRACON

pilar	c. betoneira 1	c. betoneira 2	c. betoneira 3
P11	29.5	30.9	28.7
P12	31.6	32.2	32.6
P13	33.0	34.2	33.7
P11	34.3	34.5	35.3
P14	35.2	35.1	35.4
P14	35.4	35.6	35.6
P13	35.9	36.8	35.7
P12	37.4	37.2	36.7
P15	37.7	37.3	36.9
P16	37.9	38.5	38.7
f_{cm} (MPa)	36.4	36.7	36.5
s_c (MPa)	1.5	1.4	1.3
v_c (%)	4	4	3
$f_{ck,est}$ (MPa)	33.8 \rightarrow 37.2	33.3 \rightarrow 36.6	35.2 \rightarrow 38.7

direitos reservados 2010

134

testemunhos extraídos

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

IBRACON

pilar	mesma betoneira	diferença
P102	32.2	- 8.0%
P113	32.2	-8.0%
P114	32.2	-8.0%
P112	33.5	-4.3%
P115	33.7	-3.7%
P168	33.7	-3.7%
P134	34.7	-0.8%
P101	39.2	+ 12.0%
f_{cm} (MPa)	33.9	
s_c (MPa)	2.3	
v_c (%)	7%	
$f_{ck,est}$ (MPa)	30.9 \rightarrow 33.8	

direitos reservados 2010

135

SEGURANÇA

IBRACON

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

direitos reservados 2010

136

Segurança

IBRACON

Valem critérios da NBR6118:2003, 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

direitos reservados 2010

137

**recordando que segundo a
NBR 8681 item 5.2.3.1**

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2} \cdot \gamma_{c3}}$$

$$\gamma_c = \gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2} \cdot \gamma_{c3} = 1.4$$

138

fib(CEB-FIP) bulletin n.2. v.2. July 1999.
Structural Concrete
updating CEB/FIP Model Code 90
item 6.3 p. 59

(1,23) γ_{c1} \longrightarrow $s_{c,ef}$ da estrutura $\geq s_{c,est}$

(1,05) γ_{c2} \longrightarrow $f_{ck,ef} \neq f_{ck,est}$

(1,16) γ_{c3} \longrightarrow incertezas sobre **R**

139

Problema

IBRACON

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

direitos reservados 2010

140

Revisão da segurança

IBRACON

CORREÇÃO (concreto da própria estrutura)

→ a NBR 6118 de 1978 permitia considerar :

$$f_{ck,est} = 1.15 \cdot f_{ck,ext}$$

→ o ACI 437:2003 *Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings* no item 5.1.1 recomenda:

$$f_{ck,est} = 1.18 \cdot f_{cm,ext}$$

→ o ACI 318:2005 *Building Code Requirements for Structural Concrete*, nos itens 9.3 e 20.2, recomenda:

$$f_{ck,est} = 1.21 \text{ a } 1.25 \cdot f_{ck,ext}$$

direitos reservados 2010

141

Revisão da segurança

IBRACON

CORREÇÃO (concreto da própria estrutura)

→ a **fib**(CEB-FIP) bulletin n.2. v.2. July 1999. *Structural Concrete. updating CEB/FIP Model Code 90*, item 6.3 p.59 recomenda:

$$f_{ck,est} = 1.11 \text{ a } 1.20 \cdot f_{ck,ext}$$

→ a NBR 6118:2003 item 12.4.1, recomenda:

$$f_{ck,est} = 1.1 \cdot f_{ck,ext}$$

aceitando uma redução de 10% no γ_c em nome da maior representatividade de $f_{ck,ext}$ em relação a $f_{ck,ef}$

direitos reservados 2010

142

Revisão da segurança

IBRACON

CORREÇÃO (concreto da própria estrutura)

→ o EUROCODE 2. EN1992. Dec. 2004. Design of Concrete Structures. General Rules for Buildings. Annex A item A.2.3 → EN 13791 Assessment of Concrete Compressive Strength in Structures or in Structural Elements. p. 200, recomenda para revisão da segurança:

1. sob controle rigoroso de geometria (excelente execução), revisar a segurança adotando:

$$\gamma_s = 1.05 \text{ (ao invés de 1.15)}$$

$$\gamma_c = 1.35 \text{ (ao invés de 1.5)} \rightarrow \gamma_c = 1.26$$

1. a partir de testemunhos extraídos revisar adotando:

$$f_{ck,est} = 1.18 \cdot f_{ck,ext}$$

direitos reservados 2010

143

Revisão da segurança resumo

norma	$f_{ck,est} = \eta \cdot f_{ck,ext}$	γ_s
NBR 6118:1978	1.10 a 1.15	1.15
NBR 6118:2003	1.10	1.15
ACI 318:2005	1.21 a 1.25	1.15
ACI 437:2005	1.18	1.15
Model Code CEB:1999	1.10 a 1.20	1.15
EUROCODE 2 & EN 13791:2004	1.18	1.05

144

Problema

IBRACON

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

direitos reservados 2010

145

1º Passo

IBRACON

Aplicar coeficientes de correção devidos a:

- dimensões padrão: → NBR 7680
- direção de extração
- posição no elemento
- broqueamento

obtem-se → $f_{c,ext,j}$

direitos reservados 2010

146

2º Passo

IBRACON

Passar de extraído a moldado:

→ coeficientes de 1,10 a 1,25

obtem-se →

$$f_{c,j} = k f_{c,ext,j}$$

direitos reservados 2010

147

3º Passo

IBRACON

Passar de moldado a j dias para $f_{c,28}$:

1. Componente foi carregado a 28 dias;
2. Componente será carregado a j dias

obtem-se →

$$f_{c,28} = \beta f_{c,j}$$

direitos reservados 2010

148

4º Passo

IBRACON

Passar de moldado $f_{c,28}$ para $f_{ck,est,28}$

1. Mesmo lote;
2. Mesmo componente;
3. Mesma unidade de produto

obtem-se →

$$f_{c,28} = f_{ck,est,28}$$

direitos reservados 2010

149

5º Passo

IBRACON

Passar de moldado $f_{ck,est,28}$ para f_{ck}

1. NBR 8953

obtem-se →

$$f_{ck} \rightarrow C20; C25; C30; \\ C35; C40; C45; C50$$

direitos reservados 2010

150

Conformidade do Concreto

IBRACON

Depende:

- **Empresa de Concreto** → domínio do processo
- **Empresa de Controle** → eficiência das operações de ensaio
- **Empresa Construtora** → precisão construtivas → tolerâncias
- **Empresa de Projeto** → especificação correta

Problemas:

- ✓ **Variabilidade dos materiais**
- ✓ **Mão-de-obra despreparada (motorista e técnico)**
- ✓ **Falta de conceitos e de bom senso** (exigências descabidas)

direitos reservados 2010

151

Conformidade do Concreto

IBRACON

Construtor:

- **Pedir slump baixo por preço;**
- **Pedir 400kg/m³ cimento e $f_{ck}=20MPa$;**
- **Lançar concreto de altura;**
- **Fôrma não estanque e não estável.**

Projetista:

- ✓ **Usa cobertura menor com $\Delta_c=0,5cm$;**
- ✓ **Pede E_c de laje maciça com 19cm ou menos;**
- ✓ **Cria dificuldade para vender facilidade.**

direitos reservados 2010

152

Conformidade do Concreto

IBRACON

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

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

direitos reservados 2010

153

Conformidade do Concreto

IBRACON

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

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

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

direitos reservados 2010

154

“INTERVALO”

IBRACON

{ abrir parenteses para
recordar como é o critério
de introdução da
segurança no projeto das
estruturas de concreto }

direitos reservados 2010

155

Premissas

IBRACON

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural
segundo a NBR6118:2007

1. Para fins de cálculo:

$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * \beta = \frac{f_{ck}}{1,4} * 0,85$$

direitos reservados 2010

Direitos Reservados 2010

156

156

Premissas

IBRACON

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural
segundo a NBR6118:2007

$$\beta = \beta_1 * \beta_2 = 1,16 * 0,73 = 0,85$$

$\beta_1 = 1.16 \rightarrow$ 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

direitos reservados 2010

Direitos Reservados 2010

157

157

Premissas

IBRACON

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

direitos reservados 2010

Direitos Reservados 2010

158

158

concreto em dias.

Crescimento da Resistência

IBRACON

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

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 = 0,1545	1,16 → 50anos	1,11 → 1 ano	1,05 de 1ano a 50anos

direitos reservados 2010

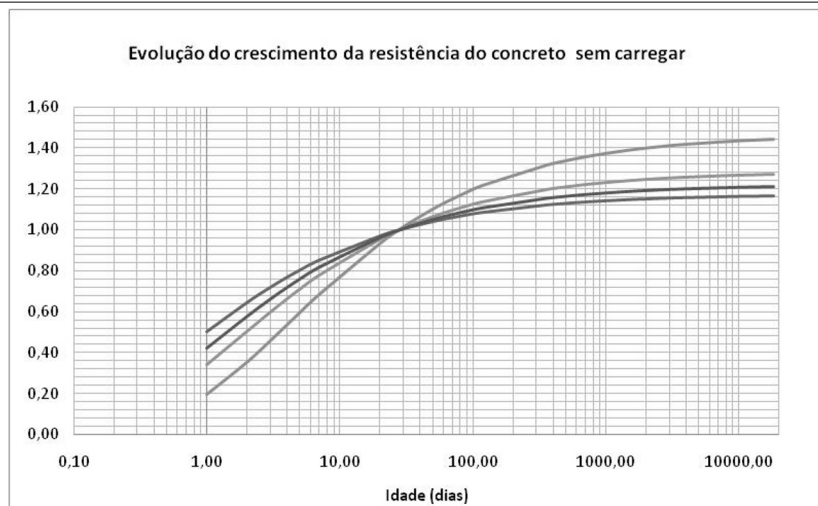
Direitos Reservados 2010

159

159

Gráfico

IBRACON



direitos reservados 2010

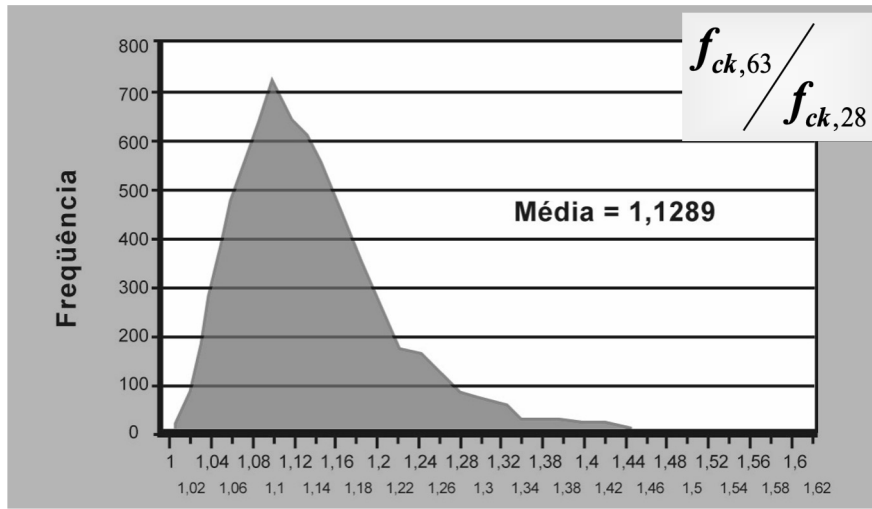
160



Análise Geral

8.429 Registros Analisados, todos os cimentos

IBRACON



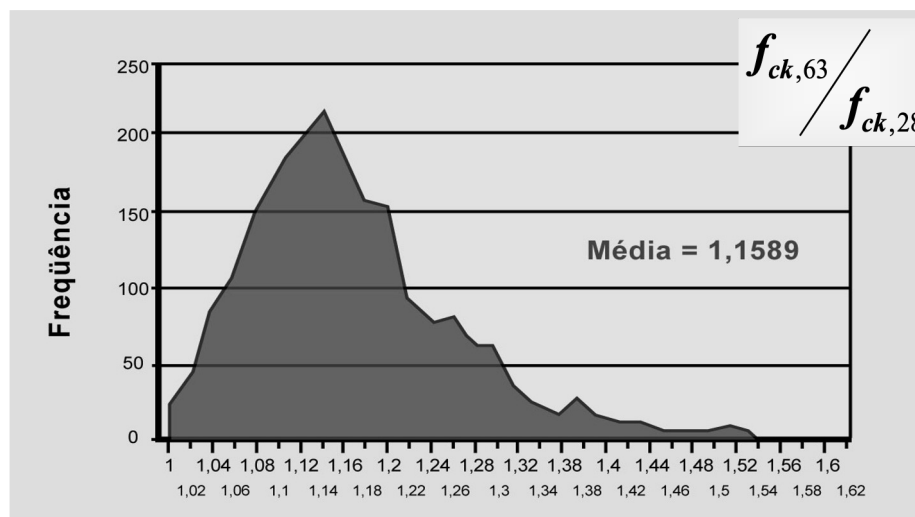
161



Análise

2.046 Registros Analisados, CP III

IBRACON



162

Premissas

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

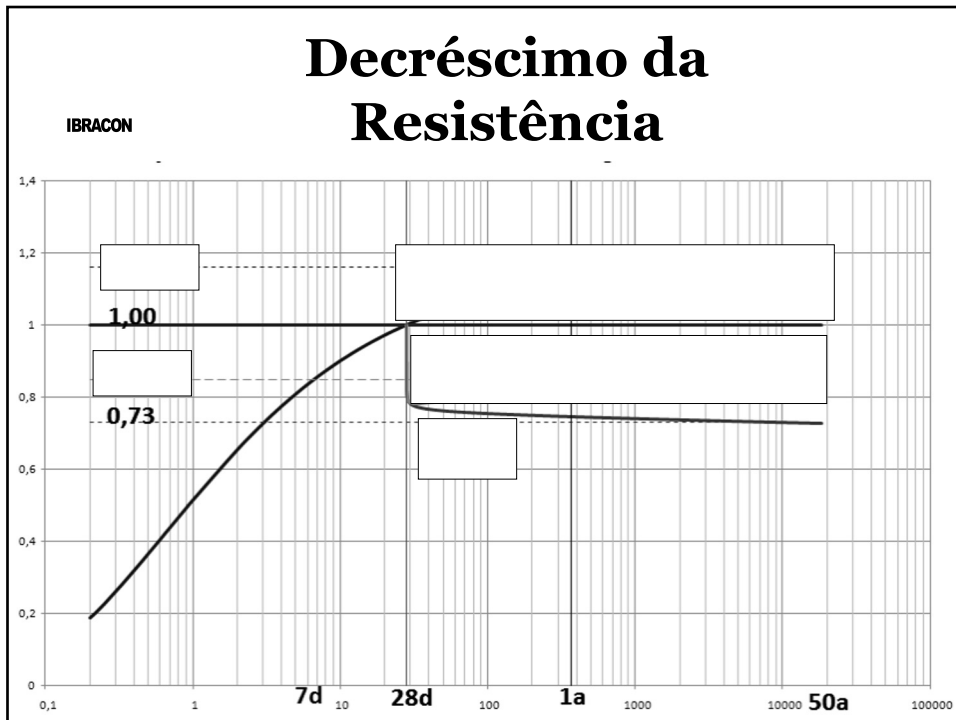
Relaxação das Resistências (efeito Rüsçh)

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

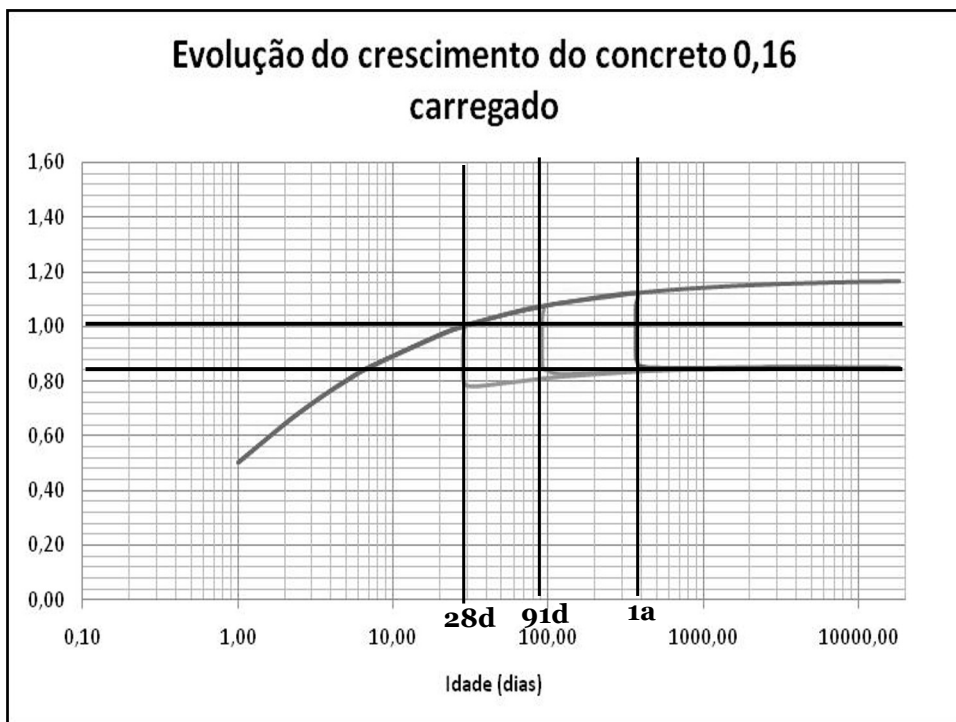
→ j em dias

→ t_0 → idade de aplicação das cargas

→ $j - t_0 > 15$ minutos



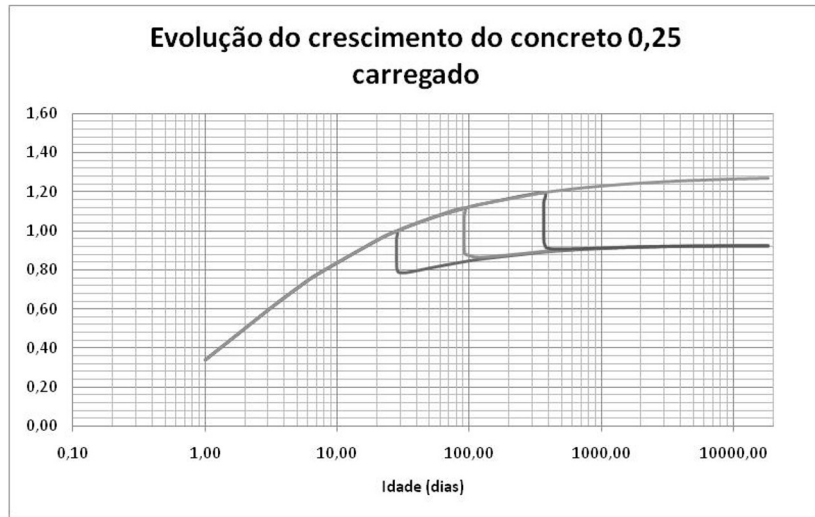
165



166

Gráfico

IBRACON

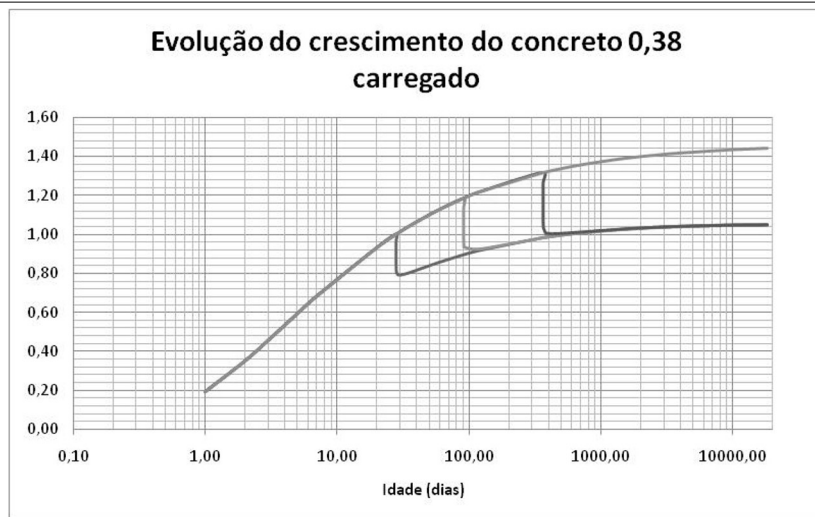


direitos reservados 2010

167

Gráfico

IBRACON



direitos reservados 2010

168

Premissas

Combinando crescimento
com decréscimo a partir
de 28dias ?

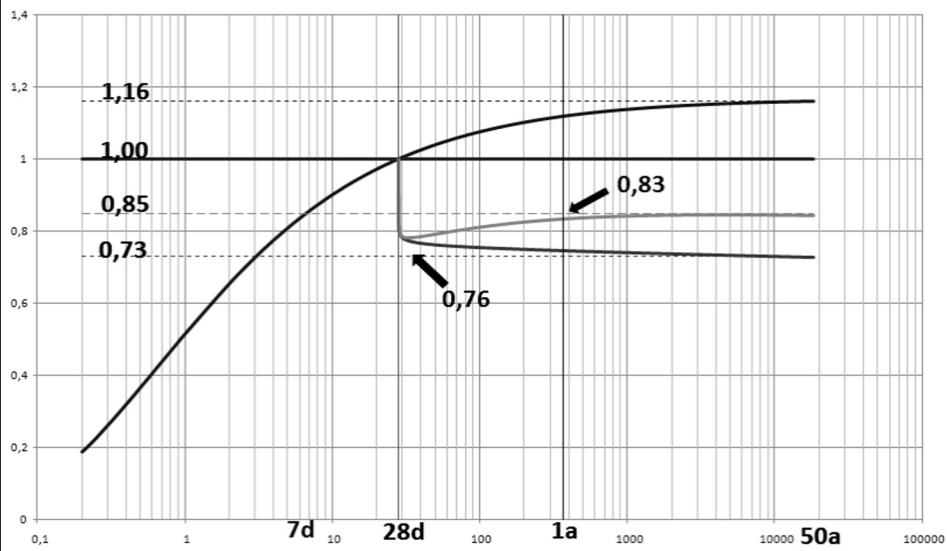
Direitos Reservados 2010

170

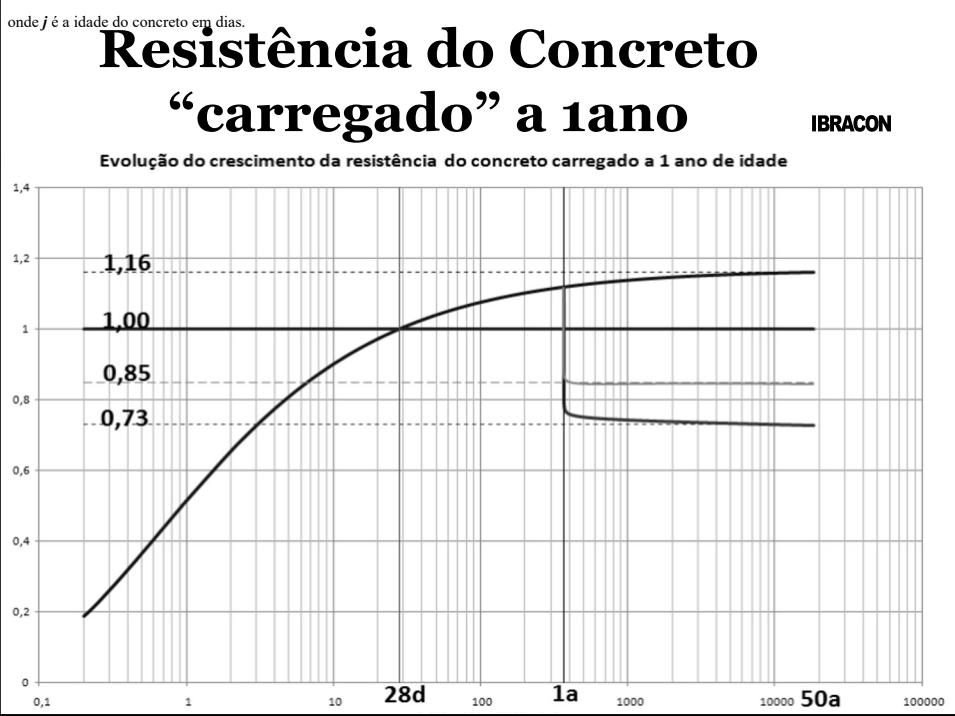
170

Resistência do Concreto “carregado” a 28dias

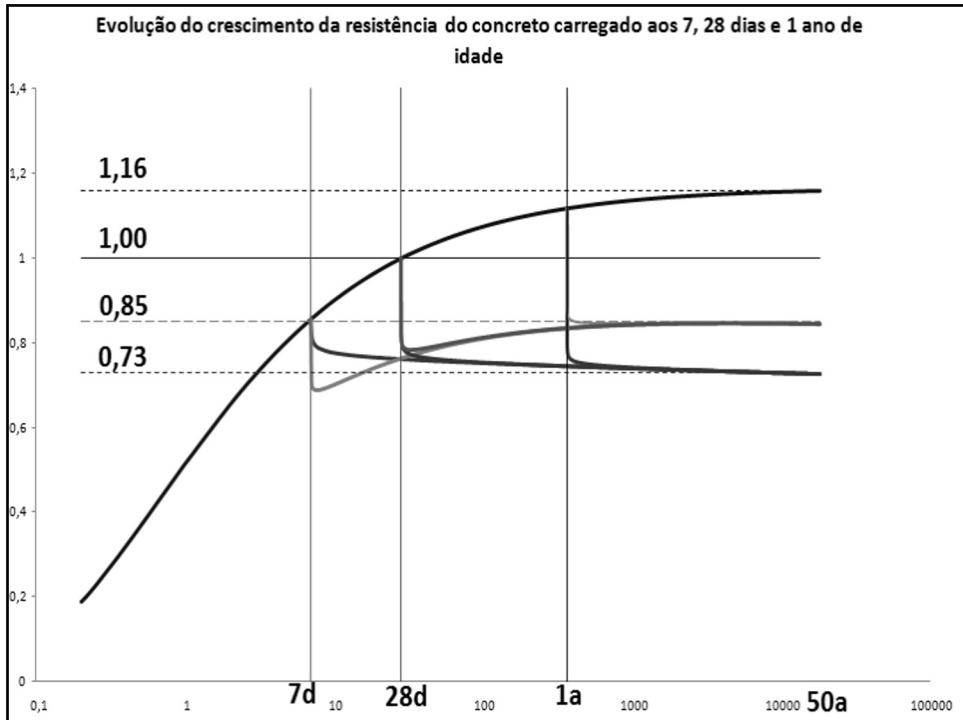
IBRACON



171



173



174

“recordação”

IBRACON

{ fechar parenteses }

direitos reservados 2010

Direitos Reservados 2010

175

175

3º Passo

IBRACON

Passar de moldado a j dias para $f_{c,28}$:

1. Componente foi carregado a 28 dias;
2. Componente será carregado a j dias

obtem-se \rightarrow

$$f_{c,28} = \beta f_{c,j}$$

direitos reservados 2010

Direitos Reservados 2010

176

176

3º Passo

IBRACON

Passar de moldado a j dias para $f_{c,28}$:

1. Componente foi carregado a 28 dias

direitos reservados 2010

Direitos Reservados 2010

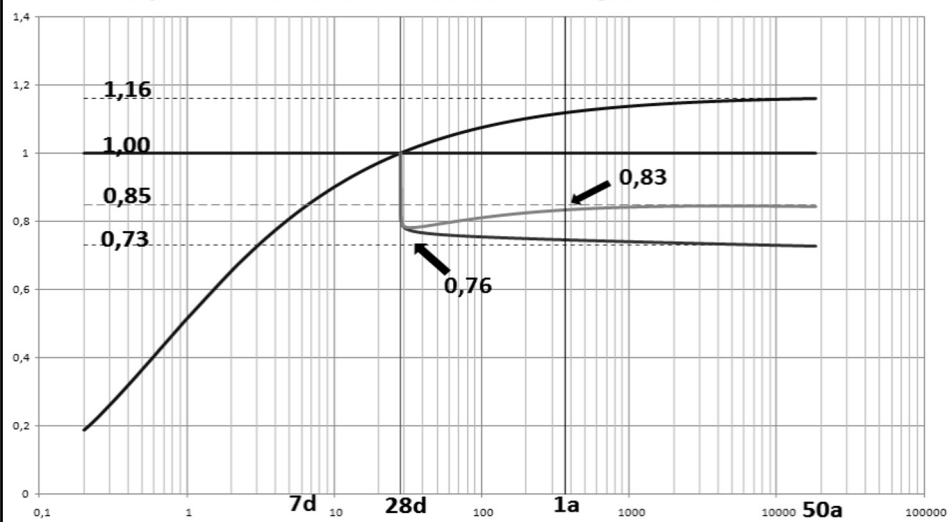
177

177

Resistência do Concreto “carregado” a 28 dias

IBRACON

Evolução do crescimento da resistência do concreto carregado aos 28 dias de idade



178

3º Passo

IBRACON

Passar de moldado a j dias para $f_{c,28}$:

1. Componente foi carregado a 28 dias;
exemplo: extração foi a 1ano

obtem-se \rightarrow

$$f_{c,28} = 1/\beta f_{c,1ano}$$

direitos reservados 2010

Direitos Reservados 2010

179

179

3º Passo

IBRACON

Passar de moldado a j dias para $f_{c,28}$:

1. Componente foi carregado a 28 dias;
2. **Componente será carregado a j dias**

direitos reservados 2010

Direitos Reservados 2010

180

180

3º Passo

IBRACON

Passar de moldado a j dias para $f_{c,28}$:

1. Componente foi carregado a 28 dias;
2. Componente será carregado a j dias

obtem-se \rightarrow

$$f_{c,28} = 1/\beta_1 f_{c,j}$$

direitos reservados 2010

Direitos Reservados 2010

182

182

4º Passo

IBRACON

Passar de moldado $f_{c,28}$ para $f_{ck,est,28}$

1. Mesmo lote;
2. Mesmo componente;
3. Mesma unidade de produto

obtem-se \rightarrow

$$f_{c,28} = f_{ck,est,28}$$

direitos reservados 2010

Direitos Reservados 2010

183

183

5º Passo

IBRACON

Passar de moldado $f_{ck,est,28}$ para f_{ck}

1. NBR 8953

obtem-se →

**$f_{ck} \rightarrow C20; C25; C30;$
 $C35; C40; C45; C50$**

direitos reservados 2010

Direitos Reservados 2010

184

184

Dúvidas

IBRACON

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

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

será que faz sentido considerar risco de
relaxação das resistências?

Direitos Reservados 2010

185

185

Dúvidas

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

Exemplo

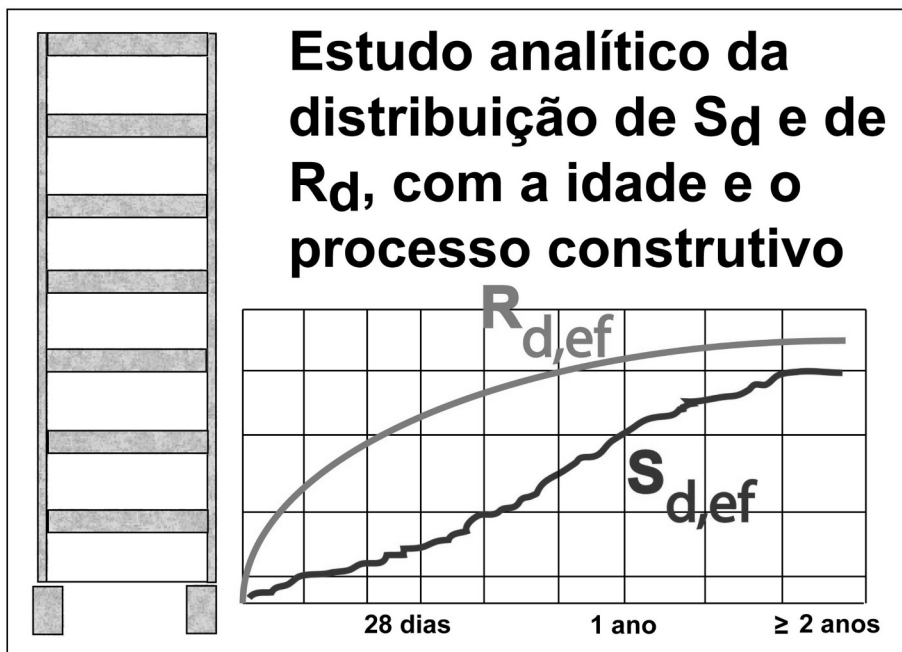
EDIFICAÇÕES

Quando efetivamente os elementos estruturais são carregados?

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

189

Estudo analítico da distribuição de S_d e de R_d , com a idade e o processo construtivo



190



192



193