



Workshop

Estruturas de Concreto e
Critérios de Conformidade



Sugestões (diretrizes) a serem seguidas pelos consultores em tecnologia dos materiais e laboratórios de ensaio

Prof. Paulo Helene

*Prof. Titular da Universidade de São Paulo USP
Vice-Presidente do Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON
Diretor da PhD Engenharia e Consultoria
Member of fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design*

1

Definições



f_{cd} → resistência de projeto do concreto à compressão para qualquer idade

σ_{cd} → tensão de compressão do concreto máxima a qualquer idade adotada no projeto

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

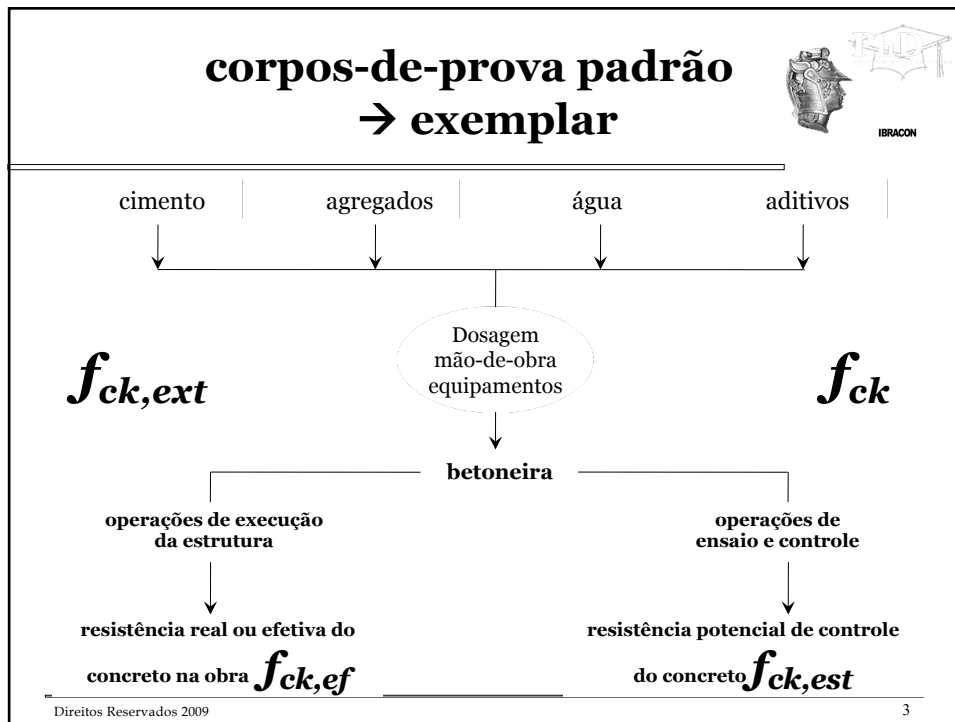
$f_{ck,est}$ → resistência característica do concreto à compressão estimada a partir de cps moldados (28 dias)

$f_{ck,ef}$ → resistência característica do concreto à compressão efetiva (real) do concreto na estrutura a qualquer idade

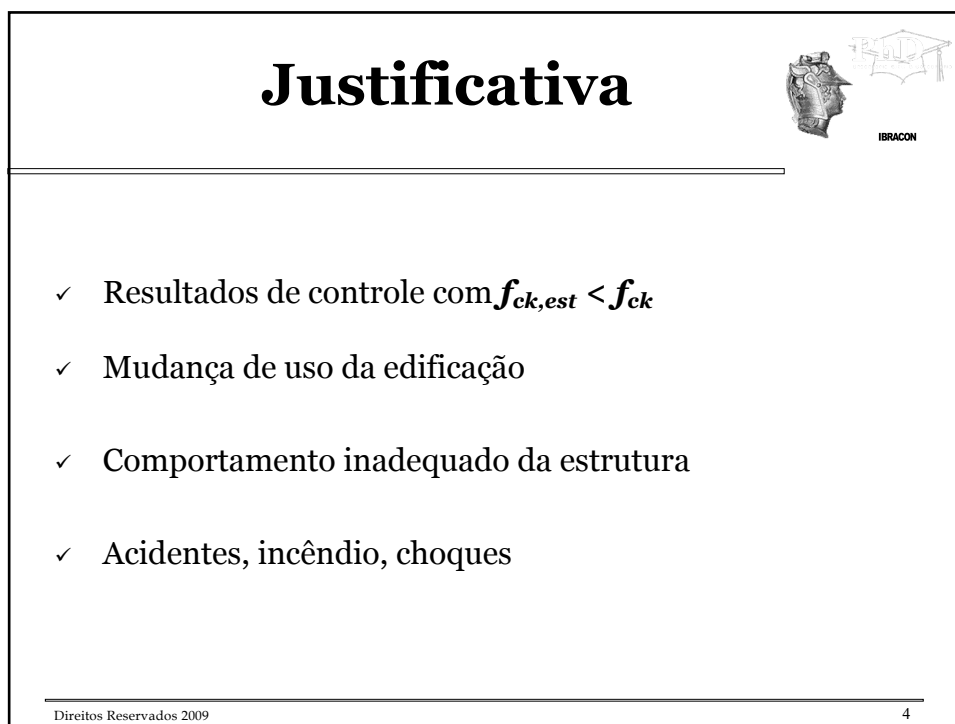
$f_{ck,ext}$ → resistência característica do concreto à compressão obtida a partir de testemunhos extraídos a qualquer idade

2

1



3



4

Problema



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

5

Premissas



Valem critérios da NBR6118:2003, ou seja:

1. Para fins de projeto:

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

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

28dias de idade

6

Premissas



Valem critérios da NBR6118:2003, ou seja:

1. Para fins de revisão de projeto a partir de $f_{c,ext}$:

$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck,est}}{\gamma_c} * w_r = \frac{f_{ck,est}}{1,27} * w_r$$

onde w_r , depende de cada caso

7

Premissas



- Controle da resistência do concreto em conformidade com NBR 6118:2003 Projeto de Estruturas de Concreto
- Controle 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

8

Dúvidas



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

Dúvidas



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



11

Dúvidas



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

12

Dúvidas



IBRACON



Direitos Reservados 2007

13

13

Dúvidas



IBRACON



Direitos Reservados 2007

14

14

Dúvidas



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**

15

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

16

corpos-de-prova padrão → exemplar



- amostragem no terço médio do volume do caminhão
- exemplo → NBR 11562:1990. Fabricação e Transporte de Concreto para Estruturas de Centrais Nucleoelétricas. (*Bureau of Reclamation*)

“desvio relativo à média de 7,5% para resistência à compressão dentro do balão do caminhão betoneira (40MPa → 37MPa a 43MPa)”

corpos-de-prova padrão → exemplar



f_c

valor duvidoso, dependente de operações de ensaio, sujeito a efeitos climáticos, sujeito ao fator humano, variabilidade intrínseca, porém admitido como

**resistência máxima
potencial na boca da
betoneira**

*portanto na obra será sempre menor.
quanto?*

corpos-de-prova padrão → exemplar



- f_{ck} → resistência característica do concreto à compressão axial obtida no cp padrão especificada pelo projetista (*máxima e hipotética!*);
“desejaria que 95% do volume de concreto entregue tivesse $f_c \geq f_{ck}$ (30MPa), ou seja, pode existir pequena quantidade de concreto com $f_c < f_{ck}$ → 3.500m³ posso admitir 175m³ (22 caminhões!)”
- $f_{ck,ef}$ → resistência característica efetiva do concreto à compressão na obra (*impossível!*) sendo a única certeza que é MENOR do que f_{ck}

corpos-de-prova padrão → exemplar



- $f_{ck,est}$ → resistência característica estimada do concreto à compressão axial obtida de exemplares representativos das unidades de produto (betoneira), que deve atender $f_{ck,est} \geq f_{ck}$;
- *no caso de amostragem parcial ou total:*

no caso de amostragem total a 100%, para 3.500m³, ou seja, 440 caminhões, posso ter 22 caminhões abaixo de f_{ck} !

corpos-de-prova padrão → exemplar



→ segurança da estrutura baseada em resultados de $f_{ck,est}$ deve ser julgada com bom senso, flexibilidade e competência

→ não se trata de julgamentos estritos, absolutos e DETERMINISTAS pois a realidade da construção de uma estrutura “exige” uma visão ESTOCÁSTICA ou probabilista, ou seja, postura flexível e holística

→ conclusão / advertência fundamental:

“a conformidade (probabilista) do concreto entregue $f_{ck,est}$ deve ser analisada de forma independente da segurança do elemento estrutural”

corpos-de-prova padrão → exemplar



raciocinando por absurdo porém conforme com a teoria vigente da introdução da segurança no projeto estrutural e de acordo com as definições e conceitos atuais:

“uma Concreteira pode fornecer um caminhão com concreto de apenas 10MPa para uma estrutura de $f_{ck}=30MPa$ e ainda estar conforme com o pedido e a normalização vigente, ou seja, dentro da lei”

corpos-de-prova padrão → exemplar



raciocinando por absurdo porém conforme com a teoria vigente da segurança estrutural e de acordo com as definições e conceitos atuais:

“uma Concreteira pode fornecer um caminhão com concreto de apenas 10MPa para uma estrutura de $f_{ck}=30\text{MPa}$ e ainda estar conforme com o pedido e a normalização vigente”

porém

“um pilar não pode receber um concreto com $f_{ck,est}$ muito abaixo de f_{ck} !”

Segunda Verificação:

Testemunhos Extraídos

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

testemunhos extraídos

NBR 7680:2007; NBR 12655:2006



- ✓ 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;
- ✓ $\Phi \geq 100\text{mm}$ e sempre $\Phi \geq 3D_{max}$ do agregado;
- ✓ 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 2009

25

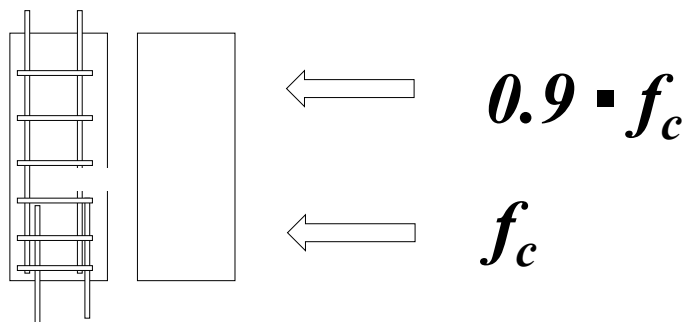
25

testemunhos extraídos

NBR 7680:2007; NBR 12655:2006



- ✓ 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 2009

26

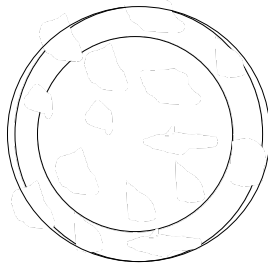
26

testemunhos extraídos

NBR 7680:2007; NBR 12655:2006



- ✓ o ACI 437:2003 Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings no item 3.1.3.1 alerta que:
para $f_{ck} = 20\text{MPa} \rightarrow f_{ck,ext} = 1.0 \cdot f_{ck,ef}$
para $f_{ck} = 60\text{MPa} \rightarrow f_{ck,ext} = 0.7 \cdot f_{ck,ef}$
- ✓ dar preferência a testemunhos de maior diâmetro;



influência nefasta da coroa
($1/6 \Phi$) para $D_{max}=19\text{mm}$:

$\Phi = 15\text{cm} \rightarrow -8\%$

$\Phi = 10\text{cm} \rightarrow -11\%$

$\Phi = 7,5\text{cm} \rightarrow -15\%$

$\Phi = 5,0\text{cm} \rightarrow -22\%$

Direitos Reservados 2009

27

27

Dúvidas



Direitos Reservados 2009

28

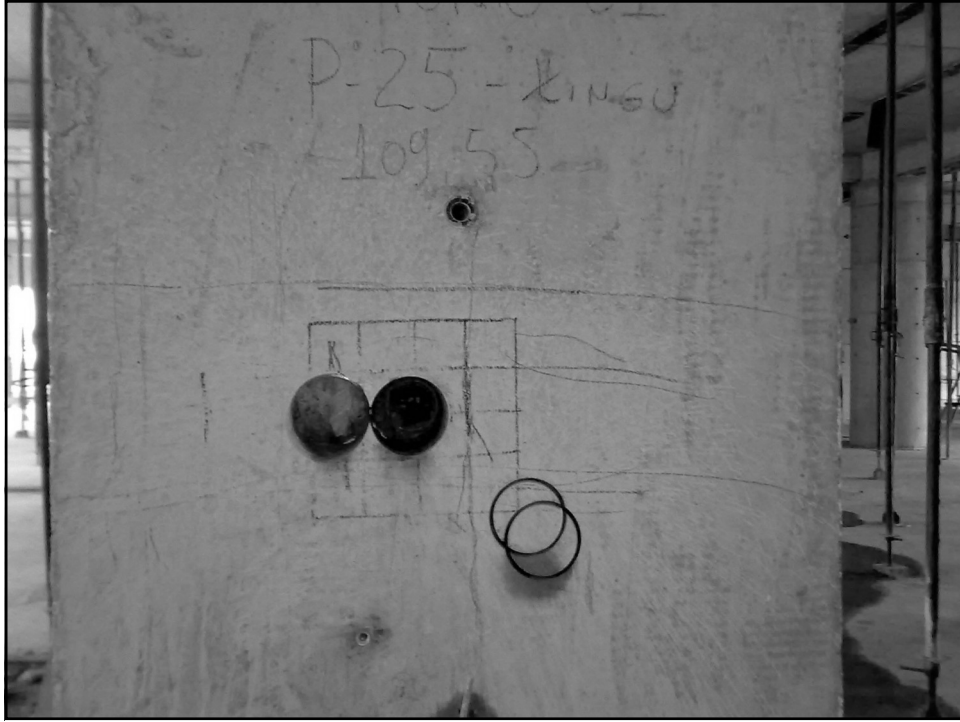
28



29



30



31



32



33

FURO CONFORME CROQUI	SEQUÊNCIA DE FERR SEM INTERRUPÇÃO	Nº CP	NOTA FISCAL	DATA	FCK (mpa)	TAMANHO DO CP (cm)	LOCALIZAÇÃO DO FURO	BROCA (mm)	TAMANHO DO FURO APOS EXTRAÇÃO (M)
7	1º	7A			70,0	15,0	Próximo elevador próximo ao P335 e P345 (área de 958)	100	
7	2º	7B			70,0	34,5	"	100	
7	2º	7C			70,0	4,5		100	
7	2º	7D			70,0	4,0		100	
7	3º	7E			70,0	27,0		100	
7	3º	7F			70,0	5,0		100	
7	4º	7G			70,0	17,0		100	
7	4º	7H			70,0	18,5		100	
7	5º	7I			70,0	9,5		100	
7	5º	7J			70,0	9,0		100	

OBS. A sequência da identificação é a mesma sequência da extração

- * Furo iniciado após o cobrimento para o 4º (cobrimento nº 204)
- * CP7A com no na superfície
- * CP7D para identificação visual (~1,5M do topo do furo)
- * CP7E para identificação de material fino no topo (que não apresenta na base do CP7E)
- * CP7B com fratura no topo

Mais OBS no verso

Responsável pela Extração: EXPEC (Máquina TYROLIT Broca 80cm de altura alta vibração)

Acompanhamento Técnico:

34



35



36



37



38



39



40



41



42



43



44



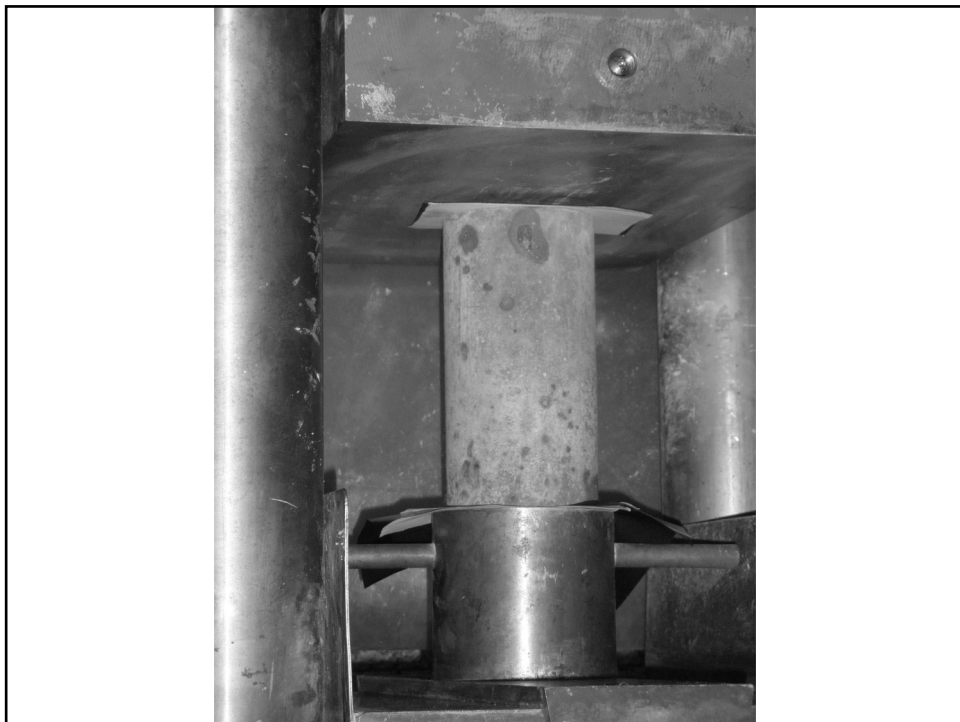
45



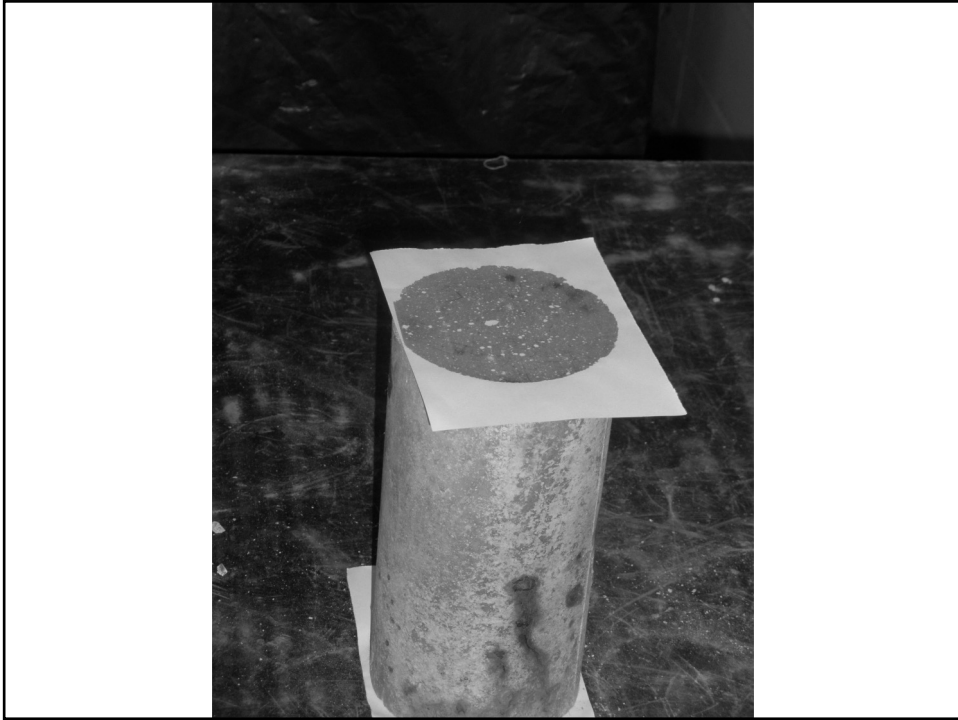
46



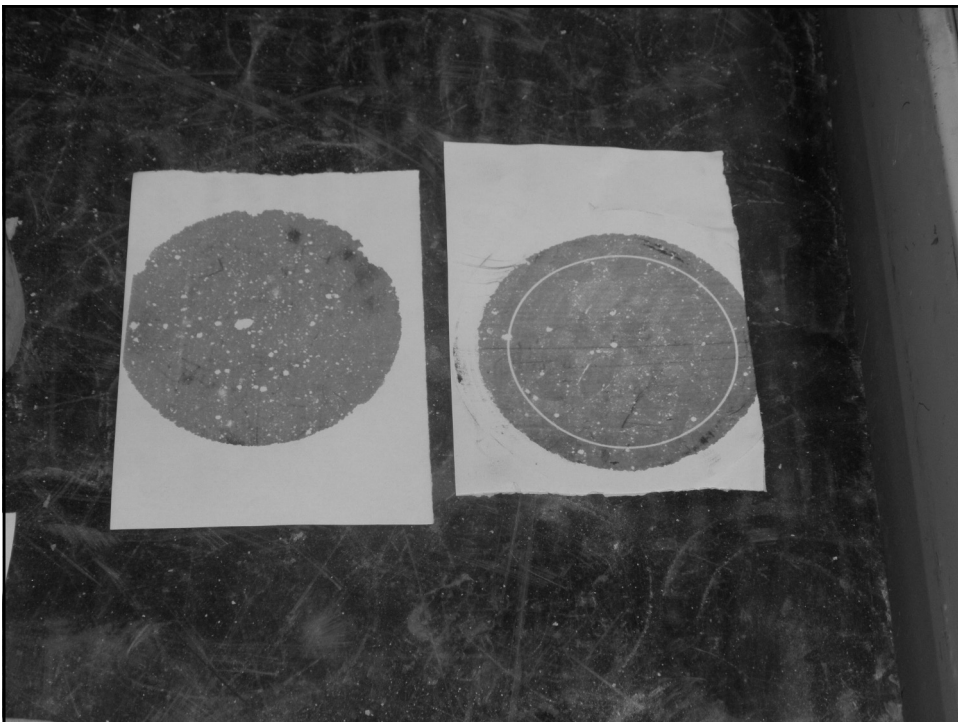
47



48



49



50

testemunhos extraídos

NBR 7680:2007; NBR 12655:2006



Problemática:

- esse valor é o máximo potencial na boca da betoneira. Todos os demais, $f_{ck,ef}$ e $f_{ck,ext}$ são inferiores a esse, apesar de se tratar do mesmo concreto;
- a questão é como passar de $f_{ck,ext}$ a $f_{ck,est}$ e refazer os cálculos com esse “novo” valor de $f_{ck,est} = f_{ck}$
- o correto seria ter 2 coeficientes de correção, um de extraído a efetivo e outro de efetivo ao estimado (f_{ck});

$$f_{ck,ext} \rightarrow f_{ck,ef} \rightarrow f_{ck,est} \approx f_{ck}$$

Direitos Reservados 2009

51

51

testemunhos extraídos

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



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

52

testemunhos extraídos

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



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

53

testemunhos extraídos

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



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

54

testemunhos extraídos

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



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

55

testemunhos extraídos

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



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	

56

Idade



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

57

Crescimento da Resistência



CEB – FIP Model Code 1990
Bulletin d'Information 213/214, May 93

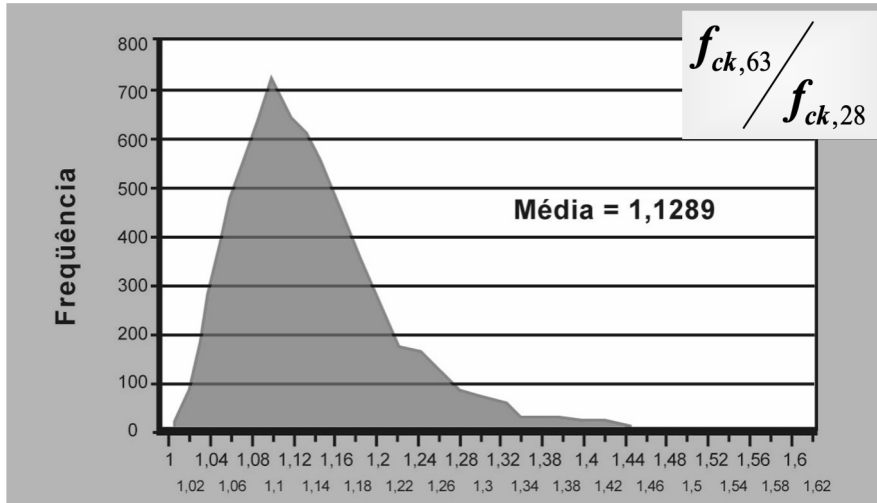
$$\frac{f_{cm,t}}{f_{cm,28}} = e^{s*(1-\sqrt{\frac{28}{t}})}$$

CPV ARI	→ s	= 0,2	→	1,22 → 100anos
CP I / II	→ s	= 0,25	→	1,28 → 100anos
CP III / IV	→ s	= 0,38	→	1,45 → 100anos

58

Análise Geral

8.429 Registros Analisados, todos os cimentos



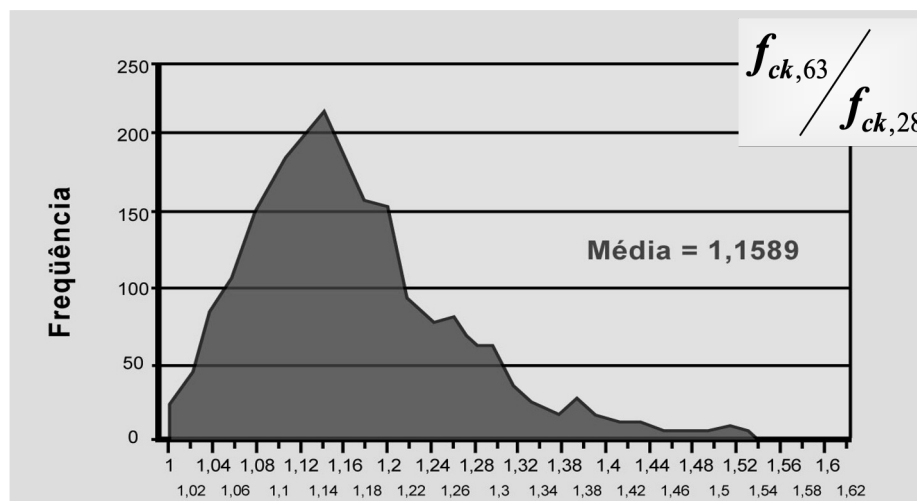
Direitos Reservados 2009

59

59

Análise

2.046 Registros Analisados, CP III

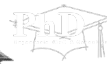


Direitos Reservados 2009

60

60

$\beta_{1,t}$ = crescimento f_{ck} após t_o



IBRACON

$$\beta_{1,t} = \frac{f_{cm,t_\infty}}{f_{cm,t}}$$

		28d
Rüsch (1960)		1,30
	• POZ & AF	1,45
CEB(1990)	• normal	1,28
	• ARI + CAR	1,22
NBR 6118:2003		1,20

Direitos Reservados 2009

61

61

testemunhos extraídos

Pontos para Discussão



IBRACON

CORREÇÃO (concreto da própria estrutura)

→ a NBR 6118 de 1978 permitia considerar :

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

mais coerente e mais justo

→ 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 2009

62

62

testemunhos extraídos

Pontos para Discussão



CORREÇÃO (Posição da ABECE)

→ 12.4.1 da NBR 6118:2003 → com base na teoria da segurança:

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

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

SUGESTÃO:

Adotar $f_{ck,est} = 1.2 \cdot f_{ck,ext}$

“pois este resultado se aproxima muito de $f_{ck,ef}$ e a redução de γ_c de 1,4 para 1.17 sem alterar a segurança”

testemunhos extraídos

Pontos para Discussão



CORREÇÃO

→ a NBR 6118:2003 considera o efeito “Rüsch” como:

→ Carregamento aos 28 dias;

→ Resistência do concreto cresce apenas 20% em 100 anos (1.2);

→ Resistência do concreto decresce 29% em 100 anos (0.71);

→ Portanto $\sigma_{cd} = (f_{ck}/\gamma_c) \cdot 0.85$

“Usar o coeficiente efetivo admitindo que o resultado de $f_{c,ext}$ já foi parcialmente afetado por efeito “Rüsch” e neste caso usar a fórmula modelo do Model Code CEB/FIP90”

testemunhos extraídos

Pontos para Discussão



CORREÇÃO (efeito Rüsçh)

Proposta:

“Usar o coeficiente efetivo admitindo que o resultado de $f_{c,ext}$ já foi parcialmente afetado por efeito “Rüsçh” e neste caso usar a fórmula modelo do Model Code CEB/FIP90”

testemunhos extraídos

Pontos para Discussão



CORREÇÃO (crescimento da resistência com a idade)

Proposta:

- 1. Até 3 meses não retroagir, ou seja, adotar $f_{ck,est} = f_{c,ext}$***
- 2. Após 3 meses corrigir de acordo com fórmulas modelo do Model Code CEB/FIP90***

Em lugar de



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

67

Proposta



- β_t idade de aplicação da carga (relaxação)
- β_{ci} tipo de cimento e a / c (crescimento)

$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * \beta_t * \beta_{ci}$$

68

testemunhos extraídos

recomendações “bom senso”



- até 10% em pilares e vigas
- até 20% no caso de lajes
- são considerados “alertas” pois as “incertezas naturais” cobrem essas diferenças;
- diferenças dessa ordem jamais justificam paralizações na execução da obra;
- não justificam reforço
- podem justificar pagar pelo f_{ck} menor, lembrando que:

NBR 8953:1992

C20 ; C25 : C30 ; C35 ; C40 ; C45 : C50
C30 (± 10%)

Direitos Reservados 2009

69

69

testemunhos extraídos

Pontos para Discussão



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



70

testemunhos extraídos

Pontos para Discussão



Direitos Reservados 2009

71

71

testemunhos extraídos

Pontos para Discussão



Direitos Reservados 2009

72

72

testemunhos extraídos

Pontos para Discussão



IBRACON



Direitos Reservados 2009

73

73



1901

primeiro edifício de concreto armado Paris, França → François Hennebique “nunca mais colapso por incêndio”

74



75