

# Conhecendo o Concreto Estrutural Mitos & Verdades

**CONPASU**  
concreto • pavimentação • saneamento • hidrelétricas



*"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"*

**Paulo Helene**  
*Diretor PhD Engenharia  
 Conselheiro Permanente IBRACON  
 Prof. Titular Universidade de São Paulo  
 Presidente Honorífico ALCONPAT Internacional  
 Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design  
 Conselheiro da CNTU e SEESP*

SENGE
27 de abril de 2017
Porto Alegre / RS

1

## Intervenientes



**projetista  
estrutural**



**fornecedor  
do concreto**



**construtora  
(execução)**



**tecnologista  
(consultor)**



**laboratório  
de controle**

**atribuição de incumbências  
ABNT NBR 12655:2015**

3

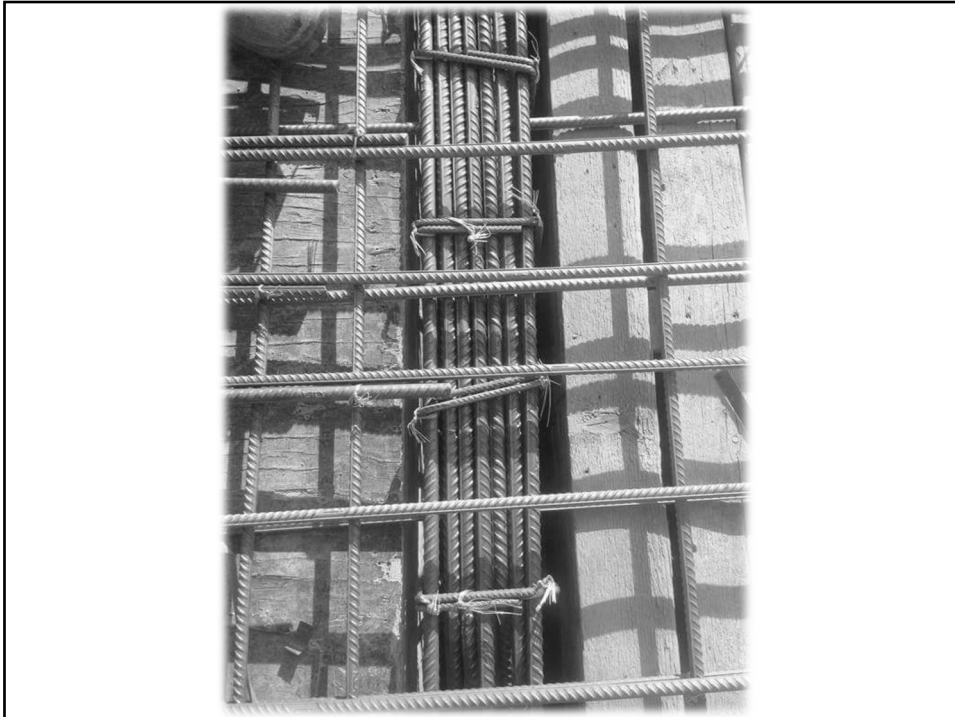
- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

4

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

5





6

## **PROJETO**

*ABNT NBR 6118:2014*  
*“Projeto de estruturas de concreto —*  
*Procedimento”*

*ABNT NBR 12655:2015*  
*“Concreto de cimento Portland - Preparo,*  
*controle, recebimento e aceitação -*  
*Procedimento”*

*ABNT NBR 15575-1:2013*  
*“Edificações habitacionais — Desempenho*  
*Parte 1: Requisitos gerais”*

7

**ABNT NBR 15575-1:2013**  
**“descreve responsabilidades”**

**5. INCUMBÊNCIAS DOS INTERVENIENTES**

**✓ *Projetista:***

- estabelecer a Vida Útil de Projeto (VUP);
- especificar materiais, produtos e processos que atendam o desempenho mínimo estabelecido;
- inserir nos projetos ou memoriais de cálculo as exigências extras para atender VUPs maiores que o mínimo estabelecido de 50 anos.

8

**ABNT NBR 12655**

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

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

9

## **ABNT NBR 12655:2015**

### **4. ATRIBUIÇÕES DE INCUMBÊNCIAS**

#### ***✓ Profissional responsável pelo projeto estrutural***

*Cabem a este profissional as seguintes responsabilidades, a serem explicitadas nos contratos e em todos os desenhos e memórias que descrevem o projeto tecnicamente, com remissão explícita para determinado desenho ou folha da memória:*

- registro da resistência característica à compressão do concreto,  $f_{ck}$ , obrigatório em todos os desenhos e memórias que descrevem o projeto tecnicamente;*

10

Como o Projetista  
escolhe ou adota um  
 $f_{ck}$ ?

11

## Qual é o Concreto Estrutural mais Sustentável?

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

$$f_{ck} = 30\text{MPa}$$

$$f_{ck} = 35 ; 40 ; 45; 50; \dots \text{MPa}$$

$$f_{ck} = 90 \text{MPa}$$

12

## Investigação: edifício em Concreto Armado

### Conclusão:

*Para todas as categorias de impacto, a estrutura de  $f_{ck}$  acima de 40 MPa é ambientalmente a melhor, a que causa os mínimos impactos ao meio ambiente*

Ricardo BENTO, doutorado IAU.USP.

13



14

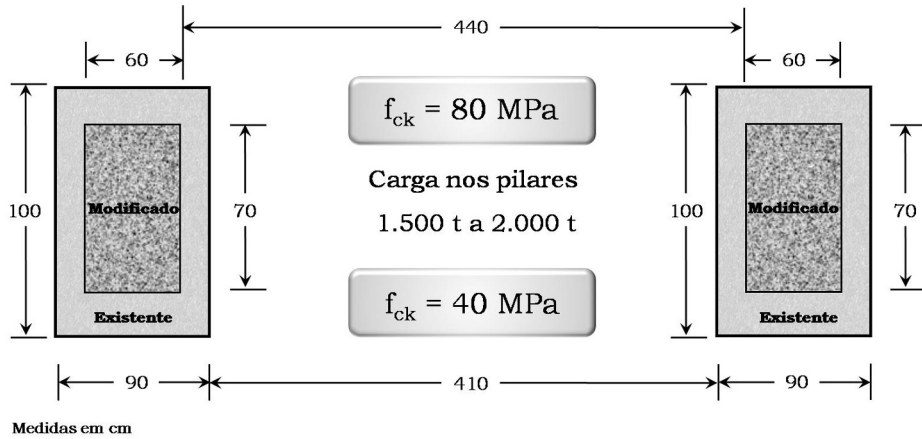
***e-Tower***

- Edifício e-Tower SP
- 42 andares
- Heliporto
- Piscina semi-olímpica
- Academia de ginástica
- 2 restaurantes
- concreto colorido
- $f_{ck}$  pilares = 80MPa

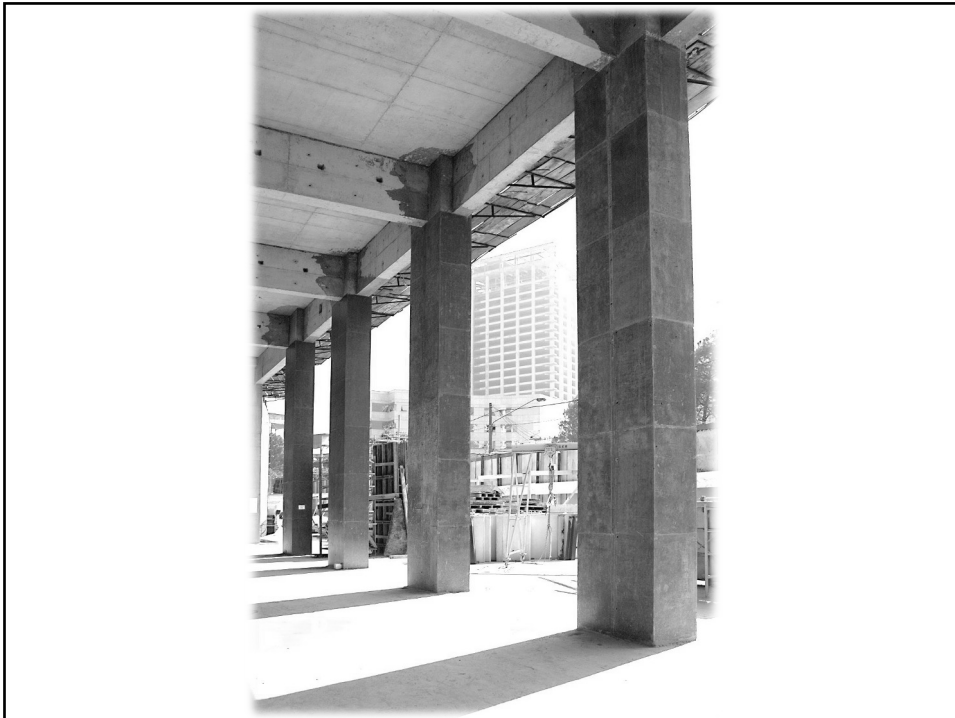


15

## Projeto estrutural (e-Tower)



16



17

## Controle



18



19

## ***Economia de Recursos Naturais***

Original:

$$f_{ck} = 40\text{MPa}$$

$$\text{seção transversal} \rightarrow 90\text{cm} \times 100\text{cm} \\ = 0,90\text{m}^2$$

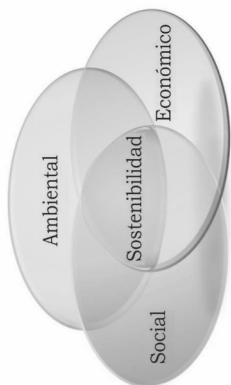
**HPC / HSC:**

$$f_{ck} = 80\text{MPa}$$

$$\text{seção transversal} \rightarrow 60\text{cm} \times 70\text{cm} \\ = \mathbf{0,42\text{m}^2}$$

20

## **Sustentabilidade**



- **70% menos areia**
- **70% menos brita**
- **53% menos concreto**
- **53% menos água**
- **20% menos cimento**
- **31% menos área de forma**

21



## Sustentabilidade



- **25% mais reaproveitamento de forma**
- **43% menos aço**
- **16 carros/vagas a mais**
- **10x vida útil**
- **100% desforma mais rápida**

22

## Conceito de rendimento:

Considerando apenas o consumo de cimento:

de 120MPa → 4,2 kg/MPa  
→ 1,2kg Clinker / MPa

40MPa → 9,0 kg/MPa  
→ 2,4kg Clinker / MPa

20MPa → 13,0 kg/MPa  
→ 3,6kg Clinker / MPa

23

## ABNT NBR 12655:2015

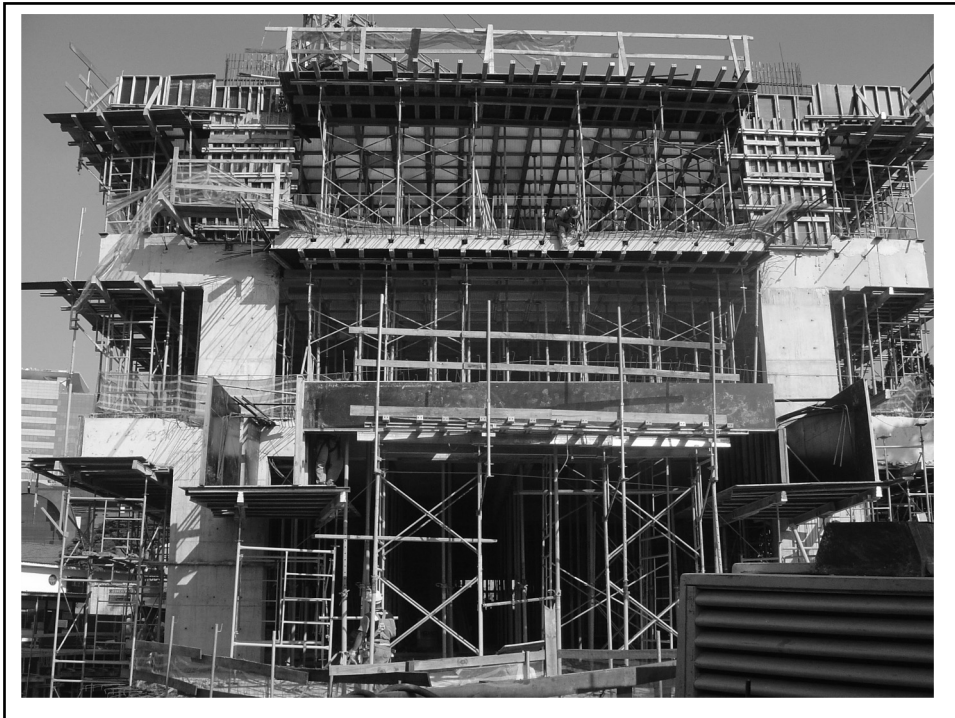
### 4. ATRIBUIÇÕES DE INCUMBÊNCIAS

#### ✓ *Profissional responsável pelo projeto estrutural*

*Cabem a este profissional as seguintes responsabilidades, a serem explicitadas nos contratos e em todos os desenhos e memórias que descrevem o projeto tecnicamente, com remissão explícita para determinado desenho ou folha da memória:*

- *registro da resistência característica à compressão do concreto,  $f_{ck}$ , obrigatório em todos os desenhos e memórias que descrevem o projeto tecnicamente;*
- *especificação de  $f_{ckj}$  para as etapas construtivas, como retirada de cimbramento, aplicação de protensão ou manuseio de pré-moldado;*

24



25

## Shopping Center

*11.06.2013*

colapsou 40.000m<sup>2</sup>

4 lajes protendidas

3 pavimentos

vãos 7,5m x 7,5m

*obra em construção*

26



27



28



29



30



31

Comunicado

## Shopping Rio Poty

O Shopping Rio Poty vem a público esclarecer a causa do incidente verificado na madrugada de 11/07, bem como detalhar seu plano de retomada das obras, tornado possível após reunir técnicos de renome nacional em colaboração com as autoridades públicas. A conclusão irrefutável a que se chegou foi de que o incidente se deveu a um erro de execução específico e pontual. É importante frisar que, por se tratar de erro isolado, fica garantida a continuidade do projeto. Abaixo a descrição do que ocorreu:

1

Antes de iniciada a concretagem de um trecho específico da Laje do 5º pavimento (L5), foi retirado INADVERTIDAMENTE o escoramento da Laje do 4º pavimento (L4), que se encontrava parcialmente tensionada.

2

Na fase final da concretagem de trecho do L5, a soma das cargas de duas lajes (L4+L5), sob uma única laje (L4) PARCIALMENTE TENSIONADA e NÃO ESCORADA, acarretou no colapso em cadeia da estrutura.



32

## ABNT NBR 12655:2015

### 4. ATRIBUIÇÕES DE INCUMBÊNCIAS

#### ✓ *Profissional responsável pelo projeto estrutural*

*Cabem a este profissional as seguintes responsabilidades, a serem explicitadas nos contratos e em todos os desenhos e memórias que descrevem o projeto tecnicamente, com remissão explícita para determinado desenho ou folha da memória:*

- *registro da resistência característica à compressão do concreto,  $f_{ck}$ , obrigatório em todos os desenhos e memórias que descrevem o projeto tecnicamente;*
- *especificação de  $f_{ckj}$  para as etapas construtivas, como retirada de cimbramento, aplicação de protensão ou manuseio de pré-moldados;*
- *especificação dos requisitos correspondentes à durabilidade da estrutura e elementos pré-moldados, durante sua vida útil, inclusive a classe de agressividade adotada em projeto (Tabela 1 e 2);*

33

## ABNT NBR 6118:2014 e ABNT NBR 12655:2015

Tabela 1 – Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a, b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes e indústrias químicas.

34

## ABNT NBR 6118:2014 e ABNT NBR 12655:2015

Tabela 2 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto kg/m <sup>3</sup>	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360

CA Componentes e elementos estruturais de concreto armado.  
CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

35

## ABNT NBR 6118:2014

Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para  $\Delta c = 10$  mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

<sup>b</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Para concretos de classe de resistência superior ao mínimo exigido, os cobrimentos definidos na Tabela 7.2 podem ser reduzidos em até 5 mm.

36

## ABNT NBR 12655:2015

### 4. ATRIBUIÇÕES DE INCUMBÊNCIAS

#### ✓ *Profissional responsável pelo projeto estrutural*

*Cabem a este profissional as seguintes responsabilidades, a serem explicitadas nos contratos e em todos os desenhos e memórias que descrevem o projeto tecnicamente, com remissão explícita para determinado desenho ou folha da memória:*

- *registro da resistência característica à compressão do concreto,  $f_{ck}$ , obrigatório em todos os desenhos e memórias que descrevem o projeto tecnicamente;*
- *especificação de  $f_{ckj}$  para as etapas construtivas, como retirada de cimbramento, aplicação de protensão ou manuseio de pré-moldados;*
- *especificação dos requisitos correspondentes à durabilidade da estrutura e elementos pré-moldados, durante sua vida útil, inclusive a classe de agressividade adotada em projeto (Tabela 1 e 2);*
- *especificação dos requisitos correspondentes às **propriedades especiais** do concreto, durante a fase construtiva e vida útil da estrutura.*

37



## Propriedades especiais do concreto

- *módulo de elasticidade ( $E_c$ );*
- *massa específica;*
- *absorção de água;*
- *teor de ar;*
- *porosidade;*
- *resistência à abrasão;*
- *dureza superficial;*
- *consistência;*
- *tempo de pega inicial e final;*
- *outras, relacionadas à durabilidade ou ao comportamento mecânico do material.*

38

## Módulo de Elasticidade

### **ABNT NBR 6118:2014 item 8.2.8:**

O módulo de elasticidade ( $E_{ci}$ ) deve ser obtido segundo o método de ensaio estabelecido na ABNT NBR 8522, sendo considerado nesta norma o módulo de deformação tangente inicial, obtido aos 28 dias de idade.

Quando não se dispuser de resultados de ensaios;

$$E_{ci} = a_E * 5,6 * \sqrt{f_{ck}} \quad f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$E_{ci} = a_E * 21,5 * \sqrt[3]{1,25 + \frac{f_{ck}}{10}} \quad f_{ck} \geq 55 \text{ MPa}$$

39

**ABNT NBR 6118:2014 item 8.2.8:**

O módulo de deformação secante pode ser obtido segundo método de ensaio estabelecido na **ABNT NBR 8522**, ou estimado pela expressão:

$$E_{cs} = E_{ci} * (0,8 + 0,2 * f_{ck}/80) \text{ GPa}$$

Para idades (j) inferiores a 28 dias o módulo pode ser estimado por;

$$E_{ci(j)} = E_{ci} * \sqrt[2]{\frac{f_{ck,j}}{f_{ck}}} \quad f_{ck} \leq 45 \text{ MPa} \quad (3d \rightarrow 67\% \text{ a } 81\%)$$

$$E_{ci(j)} = E_{ci} * \sqrt[3]{\frac{f_{ck,j}}{f_{ck}}} \quad f_{ck} \geq 50 \text{ MPa} \quad (3d \rightarrow 77\% \text{ a } 87\%)$$

40

**EUROCODE 2 item 1.6:**

$E_c$  → tangent modulus of elasticity of normal weight concrete at a stress of  $\sigma_c = 0$ ;

$E_{c,eff}$  → effective modulus of elasticity of concrete (item 7.4.3);

$E_{cd}$  → design value of modulus of elasticity of concrete;

$E_{cm}$  → secant modulus of elasticity of concrete between  $\sigma_c = 0$  and  $0,4f_{cm}$

**fib Model Code 2010 – Notations:**

$E_c$  → modulus of elasticity for concrete;

$E_{ci}$  → tangent modulus of elasticity of concrete at an age of 28 days;

$E_{c,i}$  → secant modulus from the origin to the peak compressive stress (Table 5.1-8);

$E_{c,imp}$  → modulus of elasticity of concrete for impact loading (item 5.1.11.2.4).

**ACI 318-14 item 2.2:**

$E_c$  → modulus of elasticity of concrete;

$E_{cb}$  → modulus of elasticity of beam concrete;

$E_{cs}$  → modulus of elasticity of slab concrete.

41

## Fatores intervenientes

### A. Diretos

1. Relação água/cimento: (*inverso*)
2. Natureza do agregado: (*direto*)  
Basalto, diabásio, granito, gnaiss, calcário, arenito, meta-sedimento
3. Teor de argamassa seca: (*inverso*)  
 $(1+a)/(1+m)$
4. Fração pasta: (*inverso*)  
 $(1+a/c)/(1+m+a/c)$
5. Fração agregado: (*direto*)  
 $(1+a+p)/(1+m)$
6. Adições: (*inverso*)
7. Umidade do corpo de prova (*inverso*)
8. Teor de ar incorporado ou aprisionado: (*inverso*)

### Indiretos:

1. Resistência à compressão (*direto*)
2. Consistência (slump) (*inverso*)

42

## Como ensaiar?

### Ensaio Estático

#### **ABNT NBR 8522:2008 (em revisão)**

Item 3.5 Módulo de deformação secante ( $E_{cs}$ ): Propriedade do concreto cujo valor numérico é o coeficiente angular da reta secante ao diagrama tensão-deformação específica, passando pelos pontos correspondentes à tensão  $\sigma_a$  e à tensão considerada no ensaio,  $\sigma_b$

Item 3.6 Módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente inicial ( $E_{ci}$ ): módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente à origem ou inicial, que é considerado **equivalente** ao módulo de deformação secante ou cordal entre  $\sigma_a$  e  $30\%*f_c$

43

# Como ensaiar?

## Ensaio Estático

*ABNT NBR 8522:2008 (em revisão)*

- Módulo de elasticidade tangente inicial,  $E_{ci}$  a  $0,3*f_c$ , com escorvação prévia do corpo de prova.
- *Procedimento A* → tensão mínima constante
- *Procedimento B* → deformação específica mínima constante
- Módulo de deformação secante  $E_{cs}$ . Anexo A: determinação do módulo secante a qualquer tensão especificada entre  $0,2*f_c$  e  $0,8*f_c$ , sem escorvação, somente centragem.

44

# Como ensaiar?



*ABNT NBR 8522:2008 (Em revisão)*

45

## **Variações dentro ensaio NBR 8522**

*Item 6.2.4 e 8.1 - Repetitividade no laboratório:*

Dispersão máxima de 5%, entre 3 resultados de cps irmãos;

*Item 8.2 - Reprodutibilidade entre laboratórios:*

Dispersão máxima 10%, entre dois resultados.

## **Variações interlaboratoriais**

Dados do Interlaboratorial do INMETRO mostram desvios padrões até 8,6GPa e coeficientes de variação de 23% (reprodutibilidade!).

## **Tolerâncias da especificação - NBR 6118**

Não prevê tolerâncias nos resultados para aceitação.

Resultado do ensaio  $\geq$  Especificado pelo projetista

46

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

47

# **CENTRAL DE CONCRETO**

*ABNT NBR 7212:2012*

*“Execução de concreto dosado em central –  
Procedimento”*

48

## **ABNT NBR 12655:2015**

### **4. ATRIBUIÇÕES DE INCUMBÊNCIAS**

**✓ Concreto preparado por empresa de serviços de concretagem:**

*A empresa de serviços de concretagem deve assumir a responsabilidade pelo serviço e cumprir as prescrições relativas às etapas de preparo de concreto, bem como as disposições desta Norma e da ABNT NBR 7212.*

49

## ABNT NBR 7212:2012

### 4. REQUISITOS GERAIS

#### **4.1 Armazenamento dos materiais componentes do concreto**

O armazenamento deve ser feito em locais ou recipientes apropriados, de modo a não permitir a contaminação por elementos indesejáveis, evitando a alteração ou a mistura de componentes com características e de procedências diferentes.

#### **4.2 Calibração dos equipamentos**

As balanças devem atender à portaria vigente do Inmetro, para classe 3. Os dosadores volumétricos de água e aditivos devem ser calibrados periodicamente, de forma a assegurar que a diferença entre o volume nominal e o registrado seja igual ou inferior a 2% do primeiro.

Devem ser executadas calibrações frequentes:

- centrais com células de carga: no máximo a cada 6 meses;
- centrais com transmissão mecânica: no máximo a cada 3 meses;
- em obras especiais (barragens, pontes e túneis): em função do volume de concreto preparado.

50

## ABNT NBR 7212:2012

### 4. REQUISITOS GERAIS

#### **4.3 Dosagem dos materiais componentes do concreto**

Os desvios tolerados para as dosagens dos materiais componentes do concreto são devidos somente a variações de pesagem intrínsecas à operação.

- **agregados** → 3% da massa ou 1% da capacidade da balança (adotar o menor valor)
- **cimento** → 1% da capacidade da balança (dosagens iguais ou superiores a 30% da capacidade da balança) ou 4% do valor nominal da massa (dosagens inferiores a 30% da capacidade da balança)
- **água** → 3% do valor nominal da massa ou volume. Essa quantidade compreende, além da água adicionada, a devida à umidade dos agregados, a utilizada para dissolução dos aditivos e a adicionada sob a forma de gelo.
- **aditivos** → 5% da quantidade nominal da massa (dosagens inferiores a 30% da capacidade da balança)
- **outros materiais** → de acordo com as tolerâncias do fornecedor

51

## Exemplo

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

Cimento = 280 kg/m<sup>3</sup>

Areia = 845 kg/m<sup>3</sup>

Brita = 1036 kg/m<sup>3</sup>

Água = 210 L/m<sup>3</sup>

$\mu = 3\% \text{ e } 5\%$

$$\mu = 3\%$$

$$845 \times 0,03 = 25,35L$$

$$\frac{25,35}{210} \times 100 = \mathbf{12\%}$$

$$\mu = 5\%$$

$$845 \times 0,05 = 42,25L$$

$$\frac{42,25}{210} \times 100 = \mathbf{20\%}$$

$$f_{ck} = 50\text{MPa}$$

Cimento = 480 kg/m<sup>3</sup>

Areia = 801 kg/m<sup>3</sup>

Brita = 1010 kg/m<sup>3</sup>

Água = 160 L/m<sup>3</sup>

$\mu = 3\% \text{ e } 5\%$

$$\mu = 3\%$$

$$801 \times 0,03 = 24,03L$$

$$\frac{24,03}{160} \times 100 = \mathbf{15\%}$$

$$\mu = 5\%$$

$$801 \times 0,05 = 40,05L$$

$$\frac{40,05}{160} \times 100 = \mathbf{25\%}$$

52

## ABNT NBR 7212:2012

### 4. REQUISITOS GERAIS

#### 4.4 Mistura

*O volume de concreto não pode exceder a capacidade nominal de mistura do equipamento, conforme especificação do fabricante.*

*Os equipamentos devem ser verificados quanto ao desgaste das pás, estanqueidade do misturador, velocidade e tempo de mistura e aderência limpeza do misturador, a fim de assegurar a eficiência necessária da mistura.*

*Devem ser obedecidas as especificações dos equipamentos no que diz respeito ao tempo de mistura, velocidade, número de rotações e capacidade volumétrica.*

#### 4.4.4 Adição suplementar de água

*Antes do início da descarga ao verificar que o concreto apresenta abatimento dentro da classe de consistência especificada, não se admite adição suplementar de água.*

*Qualquer adição de água exigida pela contratante **exime** a empresa de serviços de concretagem de qualquer responsabilidade quanto às características do concreto constantes no pedido.*

53



## ABNT NBR 7212:2012

### 4. REQUISITOS GERAIS

#### 4.5 Transporte e lançamento do concreto

##### 4.5.2 Período de tempo para o transporte

O tempo de transporte do concreto decorrido entre o início da mistura, a partir da primeira adição de água, até a entrega do concreto deve ser:[...]

b) inferior a 90min, no caso do emprego de caminhão betoneira; [...]

##### 4.5.3 Período de tempo para as operações de lançamento e adensamento do concreto

O lançamento e adensamento do concreto devem ser:[...]

b) realizados em tempo inferior a 150min, contado a partir da primeira adição de água, no caso de emprego de caminhão betoneira. Decorridos 150min contados a partir da primeira adição de água, fica a empresa prestadora de serviços de concretagem eximida de responsabilidade do concreto aplicado. [...]

Se esses prazos não foram atendidos, **cabe à contratante recusar o recebimento.**

54



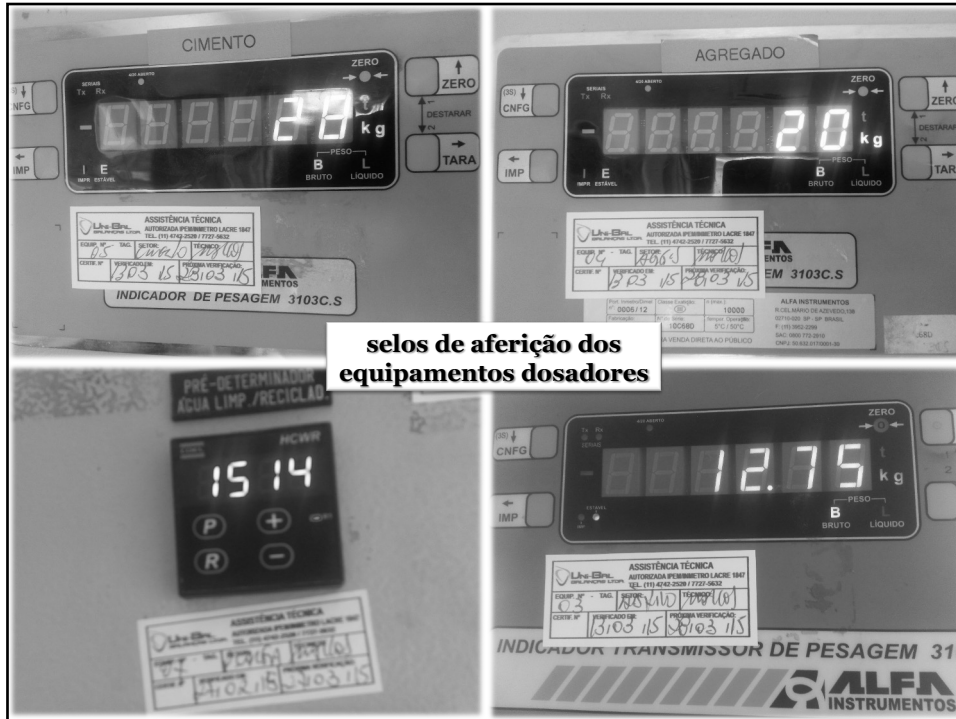
55



56

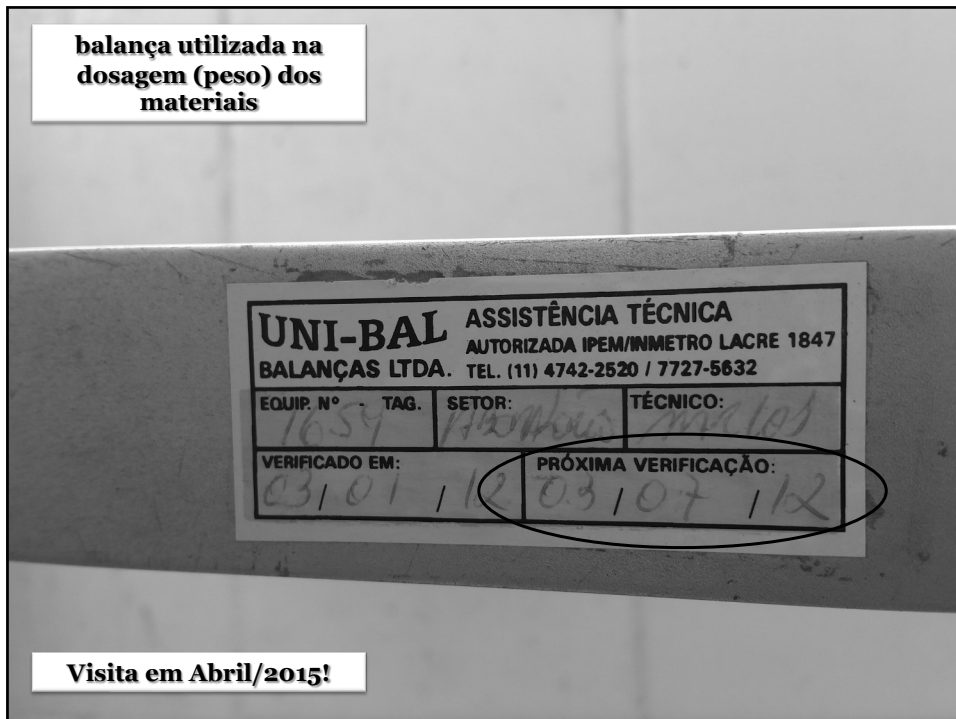


57



selos de aferição dos equipamentos dosadores

58



balança utilizada na dosagem (peso) dos materiais

Visita em Abril/2015!

59



60



61



**Redosador**

62



**Adição de água no redosador  
(sem controle)**

63



64



65

## **Aditivos**



66

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

67



## **DOSAGEM**

*ABNT NBR 12655:2015*  
*“Concreto de cimento Portland - Preparo,  
controle, recebimento e aceitação -  
Procedimento”*

68

**ABNT NBR 6118:2014**  $f_{ck}$   
**ABNT NBR 12655:2015**  $f_{ck,est}$   
**referencial de segurança**  
 $f_{ck}$

69



## Estudo de dosagem do concreto

### *Racional e experimental:*

- ✓ Concreto de classe C20 ou superior (ABNT NBR 8953:2015);
- ✓ Estudo realizado com antecedência e com os mesmos materiais e condições semelhantes àquelas da obra;
- ✓ Refazer o estudo de dosagem no caso de mudança da marca, tipo ou classe do cimento, procedência e qualidade dos agregados e demais materiais;
- ✓ Concreto autoadensável (CAA): ABNT NBR 15823:2010.

### *Dosagem empírica:*

- ✓ Concreto de classes C10 e C15;
- ✓ Consumo mínimo de cimento: 300kg/m<sup>3</sup>.

70

## Estudo de dosagem experimental do concreto



HELENE, Paulo & TERZIAN, Paulo. *Manual de Dosagem e Controle do Concreto*. São Paulo, PINI / SENAI, 1993. 189p. Método IBRACON



71

## Estudo de dosagem do concreto

A resistência de dosagem deve atender às condições de variabilidade durante a construção, que é medida pelo desvio-padrão, e levada em conta no cálculo da resistência de dosagem, segundo a equação:

$$f_{cm,j} = f_{ck,j} + 1,65 \times s_{dj} \longrightarrow \text{dependente da condição de preparo}$$

onde

$f_{cm,j}$  é a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, expressa em megapascals (MPa);

$f_{ck,j}$  é a resistência característica do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, expressa em megapascals (MPa);

$s_{dj}$  é o desvio-padrão da dosagem, prevista para a idade de j dias, expressa em megapascals (MPa);

72

## Condições de preparo do concreto

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

73

## Desvio padrão

### Concreto com desvio-padrão conhecido:

- ✓ Deve ser fixado com no mínimo 20 resultados consecutivos obtidos no intervalo de 30 dias;
- ✓ Em nenhum caso, o valor de  $s_d$  adotado pode ser menor que 2MPa.

### Concreto com desvio-padrão desconhecido:

Tabela 6 – Desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto

Condição de preparo do concreto	Desvio-padrão MPa
A	4,0
B	5,5
C	7,0

74

## Exemplo - obtenção de $f_{cm,j}$

condição de preparo: A

Para um  $f_{ck}$  de:  $f_{cm,j} = f_{ck,j} + 1,65 \times s_{d,j}$  CV

20 MPa  $\Rightarrow f_{cm,j} = 20 + 1,65 \times 4 = 26,6$  MPa 15%

30 MPa  $\Rightarrow f_{cm,j} = 30 + 1,65 \times 4 = 36,6$  MPa 10%

50 MPa  $\Rightarrow f_{cm,j} = 50 + 1,65 \times 4 = 56,6$  MPa 7%

*...e quando a amostragem é total?*

75

## Exemplo - obtenção de $f_{cm,j}$

condição de preparo: A

Para um $f_{ck}$ de:	$f_{cm,j} = f_{ck,j} + 1,65 \times s_{d,j}$	CV
20 MPa →	$f_{cm,j} = 20 + 1,65 \times 2 = 23,3$ MPa	7,5%
30 MPa →	$f_{cm,j} = 30 + 1,65 \times 2 = 33,3$ MPa	5,0%
50 MPa →	$f_{cm,j} = 50 + 1,65 \times 2 = 53,3$ MPa	3,5% !!!!!

76

## Ajuste e comprovação do traço

- ✓ Antes do início da concretagem, deve-se preparar uma amassada de concreto para comprovação e eventual ajuste do traço definido no estudo de dosagem.



evento  
protótipo

77

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

78

## **INSUMOS (MATERIAIS)**

*ABNT NBR 12655:2015*  
*“Concreto de cimento Portland - Preparo,  
controle, recebimento e aceitação -  
Procedimento”*

79

## Requisitos dos materiais componentes



80

### ABNT NBR 12655:2015

#### 5.1.1 REQUISITOS PARA OS MATERIAIS COMPONENTES DO CONCRETO

➤ **Cimento Portland**

Conforme seu tipo e classe, deve cumprir com os requisitos das: ABNT NBR 5732, ABNT NBR 5733, ABNT NBR 5735, ABNT NBR 5736, ABNT NBR 5737, ABNT NBR 11578, ABNT NBR 12989 ou ABNT NBR 13116.

➤ **Agregados**

Devem cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 7211.

➤ **Reatividade com álcalis**

Devem ser obedecidos os requisitos da ABNT NBR 15577-1.

➤ **Água**

Deve atender os requisitos da ABNT NBR 15900-1.

➤ **Aditivos**

Devem cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 11768.

➤ **Sílica ativa**

Deve atender os requisitos da ABNT NBR 13956-1.

➤ **Metacaulim**

Deve atender os requisitos da ABNT NBR 15894-1.

➤ **Outros materiais pozolânicos**

Deve atender os requisitos da ABNT NBR 12653.

81



82

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

83

# **CARTA DE TRAÇO**

*ABNT NBR 7212:2012*  
*“Execução de concreto dosado em central –*  
*Procedimento”*

84

## **ABNT NBR 7212:2012**

### **5.4 CARTA DE TRAÇO**

*A carta de traço deve conter:*

- a) Data de elaboração da carta de traço;*
- b) Código de identificação do traço;*
- c) Especificações do concreto;*
- d) Materiais utilizados;*
- e) Fornecedores de insumos;*
- f) Quantidade em massa de cada componente;*
- g) Assinatura do responsável técnico*

85



## Recomendações

A carta de traço submetida pela(s) empresa(s) fornecedora(s) de concreto à Construtora deverá descrever, no mínimo:

- o traço em massa seca de materiais por m<sup>3</sup> de concreto adensado;
- a massa específica do concreto em kg/m<sup>3</sup>;
- os consumos de cimento por m<sup>3</sup>;
- o teor de argamassa seca;
- o  $D_{max}$  do agregado graúdo;
- a consistência do concreto fresco (*slump*) ou classe de espalhamento (se autoadensável);
- a classe de concreto (C20; C25; C30; C35; C40; C45 ou C50) de acordo com a ABNT NBR 8953:2015 “Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência”;
- o módulo de elasticidade secante ou tangente inicial do concreto em GPa (ideal secante);
- o consumo de água por m<sup>3</sup>;
- a relação água/materiais cimentícios (quando for o caso);
- o consumo de materiais cimentícios (quando for o caso) por m<sup>3</sup>;
- a classe de agressividade à qual esse concreto atende;
- outras características e propriedades requeridas do concreto para casos específicos, como uso de gelo, pigmentos, impermeabilizantes por cristalização integral ou fibras sintéticas especiais.

86

## ABNT NBR 8953:2015

Tabela 2 – Classes de consistência

Classe	Abatimento mm	Aplicações típicas
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	$\geq 220$	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras

NOTA 1 De comum acordo entre as partes, podem ser criadas classes especiais de consistência, explicitando a respectiva faixa de variação do abatimento.

NOTA 2 Os exemplos desta Tabela são ilustrativos e não abrangem todos os tipos de aplicações.

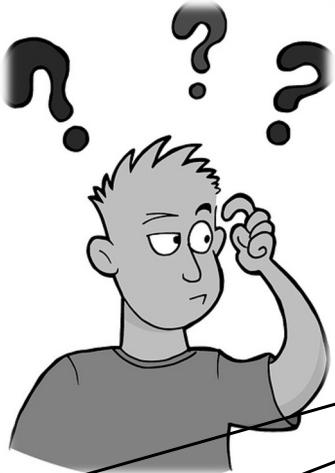
87

# ABNT NBR 15823-1:2010

Tabela A.1 — Classes de espalhamento do CAA em função de sua aplicação

Classe de espalhamento	Espalhamento mm	Aplicação	Exemplo
SF 1	550 a 650	Estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura e embutidos, cuja concretagem é realizada a partir do ponto mais alto com deslocamento livre Concreto auto-adensável bombeado Estruturas que exigem uma curta distância de espalhamento horizontal do concreto auto-adensável	Lajes  Revestimento de túneis Estacas e certas fundações profundas
SF 2	660 a 750	Adequada para a maioria das aplicações correntes	Paredes, vigas, pilares e outras
SF 3	760 a 850	Estruturas com alta densidade de armadura e/ou de forma arquitetônica complexa, com o uso de concreto com agregado graúdo de pequenas dimensões (menor que 12,5 mm)	Pilares-parede Paredes-diafragma Pilares

88



Campinas, 26 de Novembro de 2014.

6054516		FCX 50 MPa BR 1 ABAT 10+2	
MATERIAL	TIPO MCC	QDE	UN
3005513	ADITIVO POLIFUNCIONAL	4,286	Kg
3005733	AGUA	200	Kg
4254803	PEDRISCO MISTO	159	Kg
4254376	AREIA MEDIA	439	Kg
4345678	BRITA 1	1150	Kg
4254293	CIMENTO CP II E 40 GRANEL	476	Kg

- Esta carta de traço tem validade de 60 dias.  
- Os traços estão sujeitos a alteração sem aviso prévio, devendo manter as características técnicas previstas em contrato e não sua composição.

Estamos à disposição para quaisquer esclarecimentos que se façam necessários.  
Atenciosamente,

- Esta carta de traço tem validade de 60 dias.  
- Os traços estão sujeitos a alteração sem aviso prévio, devendo manter as características técnicas previstas em contrato e não sua composição.

89

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

90

## **CONTROLE DE RECEBIMENTO**

*ABNT NBR 12655:2015*  
*“Concreto de cimento Portland - Preparo,  
controle, recebimento e aceitação -  
Procedimento”*

91

## **Ensaio de controle de recebimento (consistência)**

✓ **Conforme ABNT NBR NM 67:1998**

✓ **SCC (autoadensável): ABNT NBR  
15823:2010;**

92



**Cone de Abrams**  
*Slump-test* ou Abatimento

93



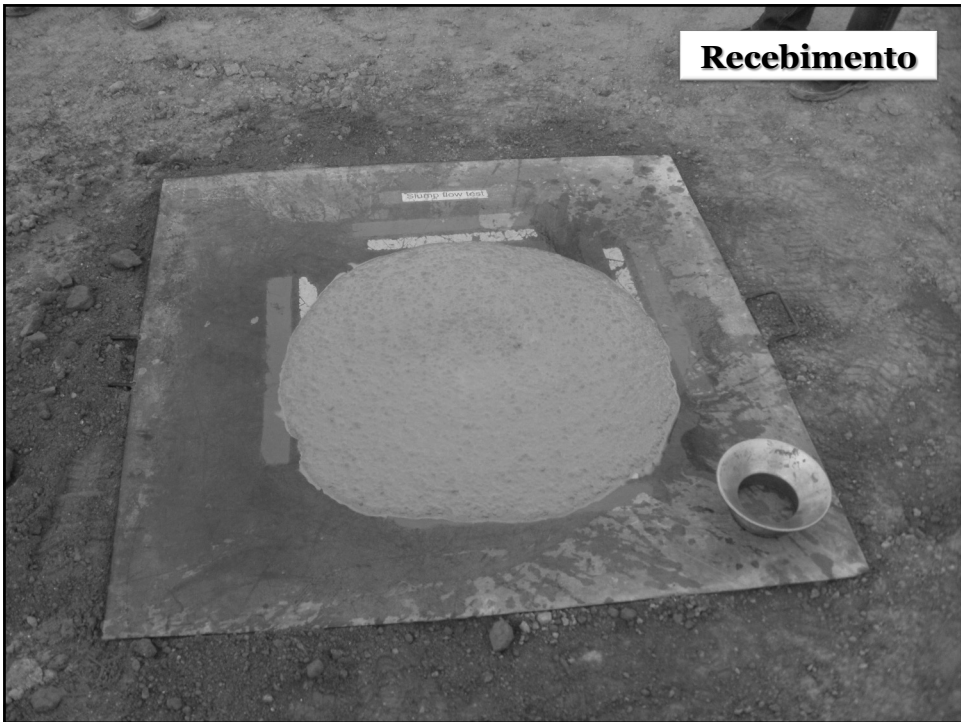
94



95



96



97



**Recebimento**

98



**Recebimento**

99



100

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

101



# **CONTROLE DE ACEITAÇÃO**

*ABNT NBR 12655:2015*  
*“Concreto de cimento Portland - Preparo,  
controle, recebimento e aceitação -  
Procedimento”*

102

**Brasil: ABNT NBR 12655:2015**  
***Concreto de cimento Portland. Preparo,  
controle, recebimento e aceitação***

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

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

103



104



105

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

### **Bolinha de gude**



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

106

## **Unidade de Produto Unidade de Controle Concreto**



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

107

**CONCRETO**  
**Unidade de Produto**

**betonada**  
**amassada**  
**mistura-traço**

**CONCRETO**  
**Unidade de Controle**

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

108

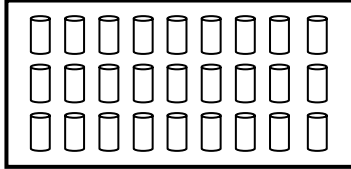
**Amostragem ABNT NBR 12655:2015**

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

109

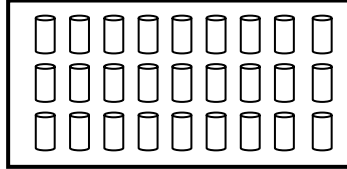
## Amostragem ABNT NBR 12655

Universo,  
População, Lote



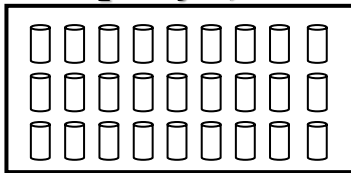
=

Amostra



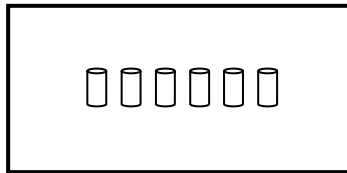
não há o  
que  
estimar

Universo,  
População, Lote



≠

Amostra

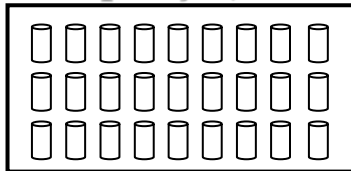


usar  
estimador

110

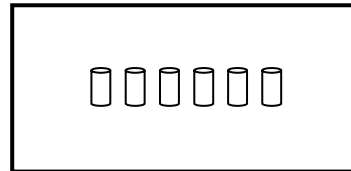
## Amostragem ABNT NBR 12655

Universo,  
População, Lote



≠

Amostra



✓  $6 \leq n < 20$ :

$$f_{ck,est} = 2 \times \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1} - f_m}{m-1}$$

onde

m é igual a n/2. Despreza-se o valor mais alto de n, se for ímpar;

$f_1, f_2, \dots, f_m$  são os valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente.

✓  $n \geq 20$ :

$$f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65 \times S_d$$

onde:

$f_{cm}$  é a resistência média dos exemplares do lote, em MPa;

$S_d$  é o desvio padrão dessa amostra de n exemplares, em MPa.

111

## **Amostragem total ABNT NBR 12655:2015**

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

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

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

112

## **Conformidade dos lotes**

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

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

113

## **ACI American Concrete Institute**

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

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

114

## **ACI American Concrete Institute**

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

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

115

## ACI American Concrete Institute

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

- Como **critério de aceitação** exige:

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

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

$$f_{ci} = f_{ck} - 3,5\text{MPa para } f_{ck} < 35\text{MPa}$$

116

### Exemplo: Para $f_{ck} = 40\text{MPa}$

ACI 318-14:

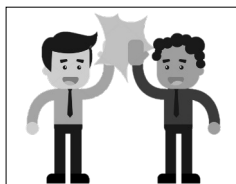
41,7

42,3

36

43,5

41,5



ABNT NBR 12655:2015:

41,7

42,3

39

43,5

41,5



117



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

No *fib* Model Code 2010

não **constam**

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

118

## **Eurocode II:2004**

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

Chapter 8. *Conformity Control and Conformity Criteria*.

8.2.1 *Conformity control for compressive strength*

119

## EN 206-1:2013

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

120

## EN 206-1:2013

- 8.2.1.2 Sampling and testing plan

Table 17 — Minimum rate of sampling for assessing conformity

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

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

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

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

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

121

# EN 206-1:2013

Como critério de aceitação, 8.2.1.3

- *Conformity criteria for compressive strength*

- *Critério para resultados individuais:*

- ✓ Qualquer valor individual deve ser

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

- *Critério para resultados médios:*

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

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

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

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

122

## Resumo - frequência dos ensaios

ABNT NBR 12655	• a cada 8m³!!				
ACI 318-14	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ≥ uma vez por dia de concretagem;</li> <li>• ≥ uma vez por cada 115m³ de concreto;</li> <li>• ≥ uma vez por cada 465m² de superfície de lajes ou muros;</li> <li>• dispensado o controle para volumes &lt;38m³</li> </ul>				
EN 206-1:2013	• ≥ 3 amostras nos primeiros 50m³;				
	<table border="1"> <tr> <td>Produção inicial (até 35 resultados de ensaio disponíveis)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ≥ 1 amostra a cada 200m³ ou a cada 3 dias de produção (concreto c/ certificação do controle de produção)</li> <li>• ≥ 1 amostra a cada 150m³ ou a cada dia de produção (concreto s/ certificação do controle de produção)</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>Produção contínua (mais de 35 resultados de ensaio disponíveis)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ≥ 1 amostra a cada 400m³ ou a cada 5 dias de produção ou a cada mês (concreto c/ certificação do controle de produção)</li> <li>• ≥ 1 amostra a cada 150m³ ou a cada dia de produção (concreto s/ certificação do controle de produção)</li> </ul> </td> </tr> </table>	Produção inicial (até 35 resultados de ensaio disponíveis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ≥ 1 amostra a cada 200m³ ou a cada 3 dias de produção (concreto c/ certificação do controle de produção)</li> <li>• ≥ 1 amostra a cada 150m³ ou a cada dia de produção (concreto s/ certificação do controle de produção)</li> </ul>	Produção contínua (mais de 35 resultados de ensaio disponíveis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ≥ 1 amostra a cada 400m³ ou a cada 5 dias de produção ou a cada mês (concreto c/ certificação do controle de produção)</li> <li>• ≥ 1 amostra a cada 150m³ ou a cada dia de produção (concreto s/ certificação do controle de produção)</li> </ul>
	Produção inicial (até 35 resultados de ensaio disponíveis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ≥ 1 amostra a cada 200m³ ou a cada 3 dias de produção (concreto c/ certificação do controle de produção)</li> <li>• ≥ 1 amostra a cada 150m³ ou a cada dia de produção (concreto s/ certificação do controle de produção)</li> </ul>			
Produção contínua (mais de 35 resultados de ensaio disponíveis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ≥ 1 amostra a cada 400m³ ou a cada 5 dias de produção ou a cada mês (concreto c/ certificação do controle de produção)</li> <li>• ≥ 1 amostra a cada 150m³ ou a cada dia de produção (concreto s/ certificação do controle de produção)</li> </ul>				

123

## Resumo – critérios de aceitação

ABNT NBR 12655	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_{ck,est} \geq f_{ck}</math></li> </ul>
ACI 318-14	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_{ci} \geq f_{ck} - 3,5\text{MPa}</math> para <math>f_{ck} &lt; 35\text{MPa}</math></li> <li>• <math>f_{ci} \geq 0,9 * f_{ck}</math> para <math>f_{ck} &gt; 35\text{MPa}</math></li> <li>• <math>f_{cm3,est} \geq f_{ck}</math></li> </ul>
EN 206-1:2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_{ci} \geq f_{ck} - 4;</math></li> <li>• <math>f_{cm,3,est} \geq f_{ck} + 4</math></li> <li>• <math>f_{cm,15,est} \geq f_{ck} + 1,48 * \sigma</math></li> </ul>

124

## Resumo

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

125

## Aceitação do concreto

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



conformidade

126

## Aceitação do concreto

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



não conformidade

127

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

128

## **LABORATÓRIOS DE CONTROLE**

*Acreditação no INMETRO (RBLE — Rede Brasileira de Laboratórios e Ensaios)*

*Escopo de acreditação compatível com o necessário para executar o controle na obra*

*Mão de obra qualificada de acordo com a ABNT NBR 15146:2011*

*“Controle tecnológico de concreto — Qualificação de pessoal”*

129

## Controle do concreto

- ✓ **O laboratório deve ser acreditado pelo INMETRO (RBLE – Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios)**
- ✓ **O laboratório deve possuir em seu Escopo de Acreditação os ensaios mínimos para realização do controle do concreto em obra**
- ✓ **A mão de obra laboratorial deve ser qualificada (ABNT NBR 15146:2011)**

130



131

## **Dúvidas**

- 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...

132

## **No canteiro de obras**

133





134



135



136



137



138





140



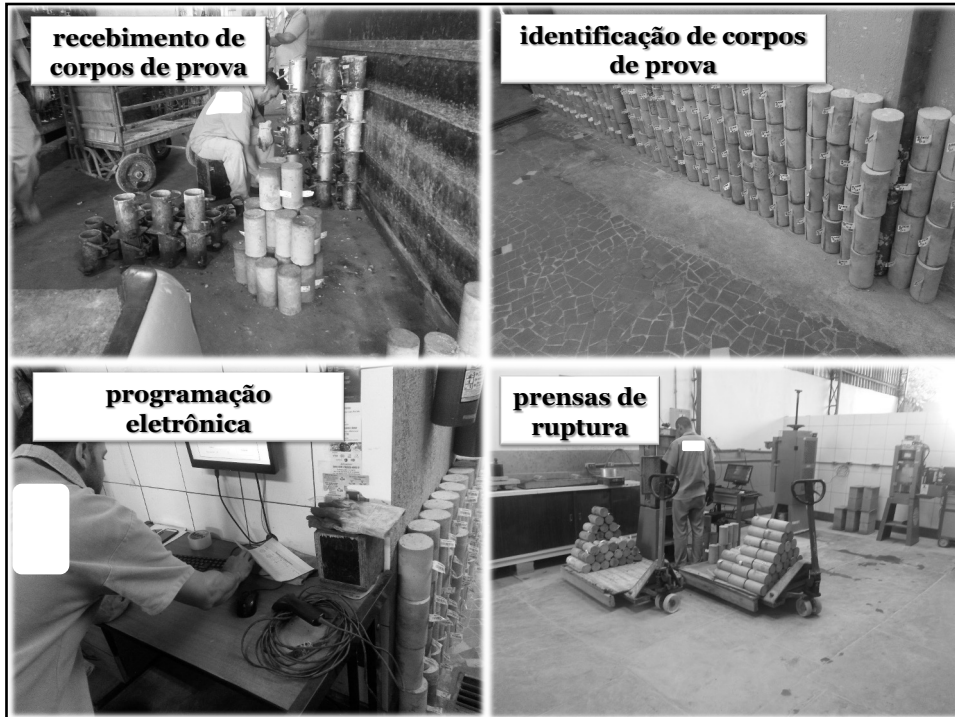
141



142



143



144



145





**Neoprene em substituição ao tratamento das superfícies dos corpos de prova**

146



**ABNT NBR 5738:2015, item 9.3.2.4**  
*Outros processos podem ser adotados, desde que estes sejam submetidos à avaliação prévia por comparação estatística, com resultados obtidos de corpos de prova retificados por processo tradicional, e os resultados obtidos apresentem-se compatíveis.*

147



148



**ABNT NBR 5739:2007, item 6.2.1, nota**  
**Quando a dispersão entre resultados de um mesmo exemplar for significativa, convém investigar o tipo de ruptura, pois defeitos na moldagem e/ou no arremate dos topos e bases dos corpos-de-prova podem ser identificados e sanados. Geralmente, quando ocorre uma dispersão significativa, a ruptura enquadra-se nos tipos F e G do Anexo A.**

149



## ABNT NBR 5739:2007 – Anexo A

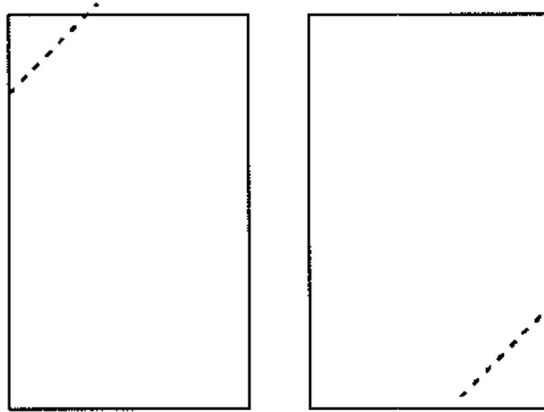
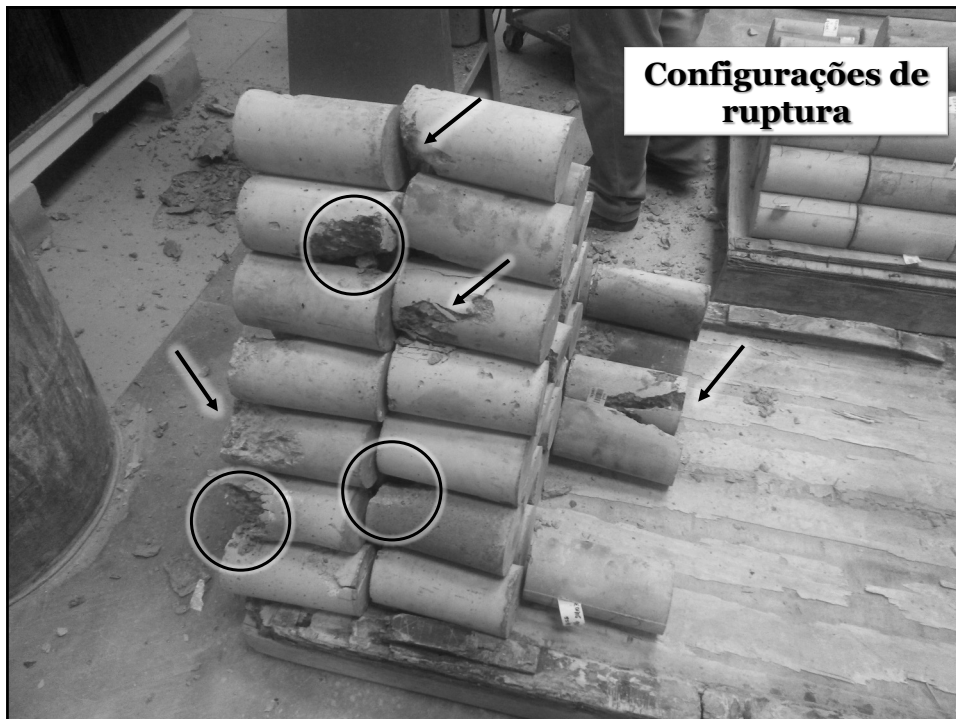


Figura A.6 – Tipo F – Fraturas no topo e/ou na base abaixo do capeamento

150



151



152

## ASTM C1231/C1231M – 14 Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders

**TABLE 1 Requirements for Use of Polychloroprene(Neoprene)  
Pads**

Compressive Strength, <sup>A</sup> MPa [psi]	Shore A Durometer Hardness	Qualification Tests Required	Maximum Reuses
Less than 10 [1 500]		Not permitted	
10 to 40 [1 500 to 6 000]	50	None	100
17 to 50 [2 500 to 7 000]	60	None	100
28 to 50 [4 000 to 7 000]	70	None	100
50 to 80 [7 000 to 12 000]	70	Required	50
Greater than 80 [12 000]		Not permitted	

153



**Retífica disponível**

154



**programação eletrônica**

**normas acessíveis para consulta**

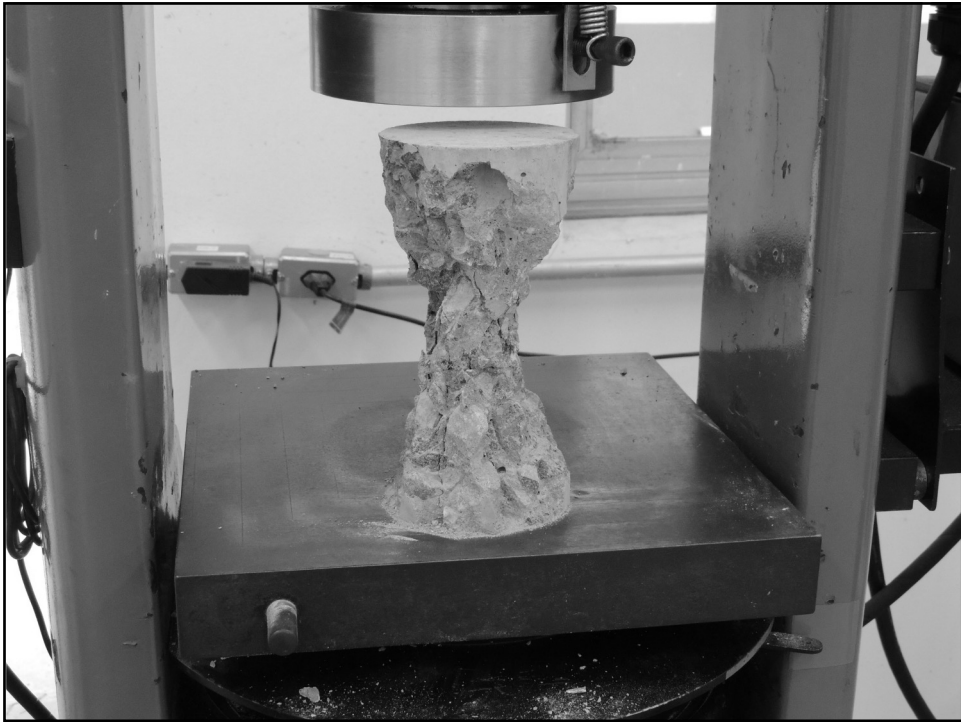
**retífica**

**aspecto da superfície**

155



156



157

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
<b>média em MPa</b>			<b>52.4</b>	<b>54.4</b>	<b>1.041</b>
<b>desvio padrão em MPa</b>			<b>4.0</b>	<b>2.6</b>	<b>0.063</b>
<b>coeficiente variação em %</b>			<b>7.7</b>	<b>4.8</b>	<b>6.056</b>

158

## Quando há extração de testemunhos

159



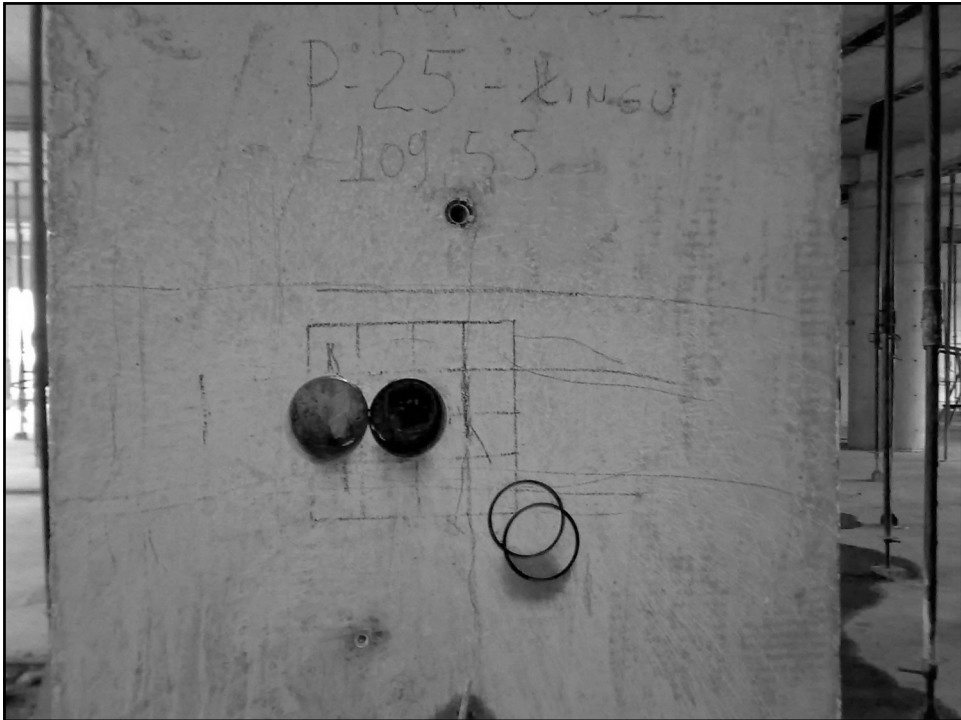
160



161



162



163



164



165





166



167



168



169



170



171



172



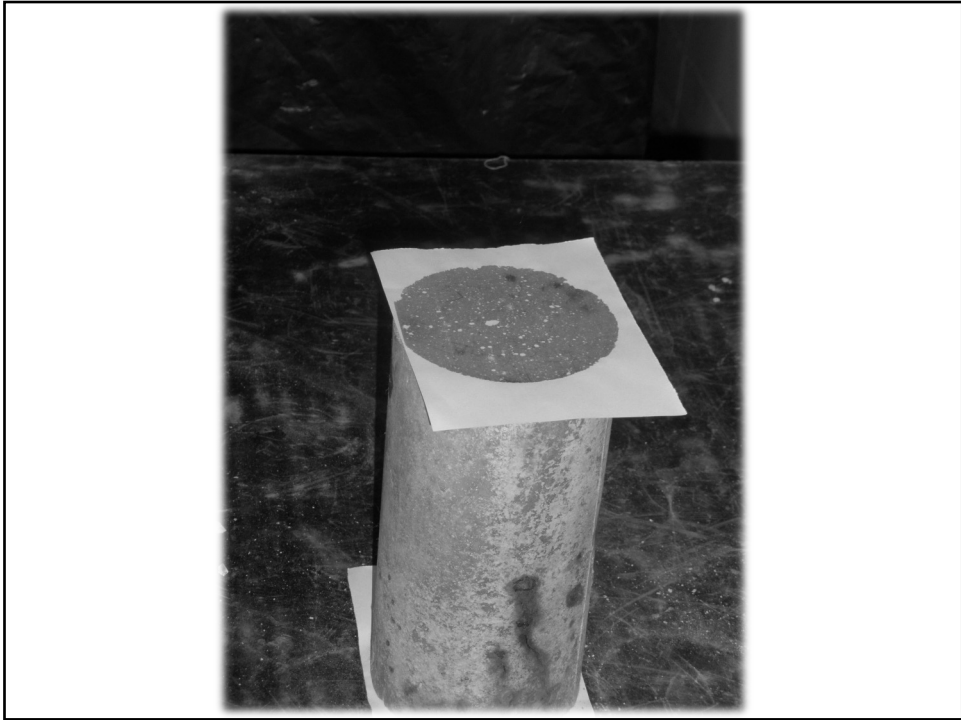
173



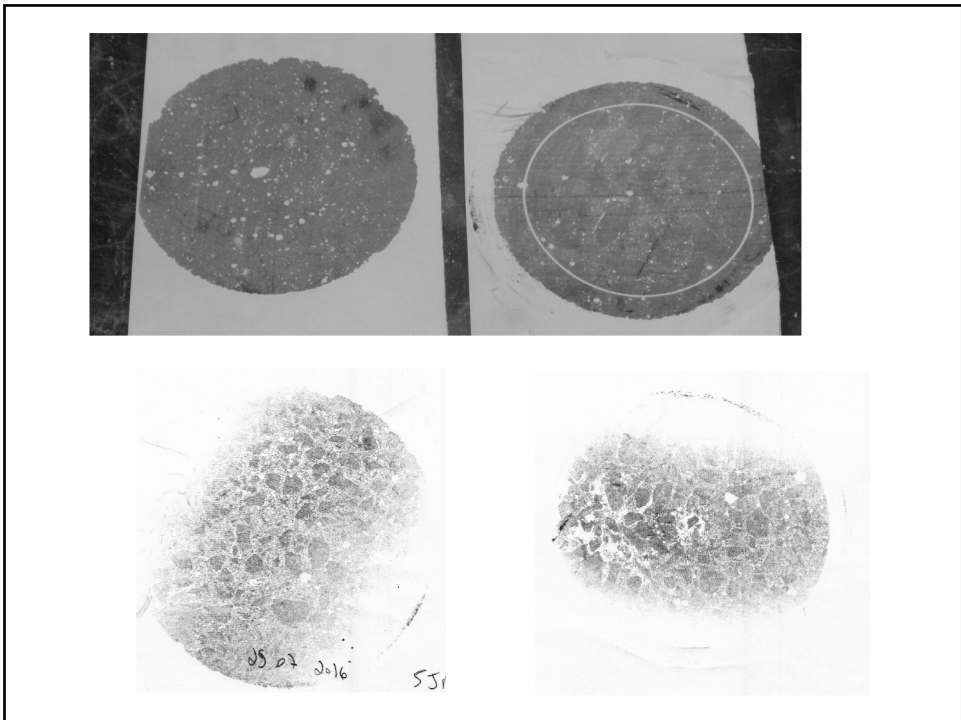
174



175



176



177

- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

178

## **EXECUÇÃO**

*ABNT NBR 14931:2004*  
*“Execução de estruturas de concreto -*  
*Procedimento”*

*ABNT NBR 15696:2009*  
*“Fôrmas e escoramentos para estruturas de*  
*concreto - Projeto, dimensionamento e*  
*procedimentos executivos”*

179

## **ABNT NBR 12655:2015**

### **4. ATRIBUIÇÕES DE INCUMBÊNCIAS**

#### **✓ Profissional responsável pela execução da obra**

*Ao profissional responsável pela execução da obra de concreto cabem as seguintes responsabilidades:*

- *Escolha da modalidade de preparo do concreto;*
- *Escolha do tipo de concreto a ser empregado e sua consistência, dimensão máxima do agregado e demais propriedades, de acordo com o projeto e com as condições de aplicação;*
- *Atendimento a todos os requisitos de projeto, inclusive quanto à escolha dos materiais a serem empregados;*
- *Recebimento e aceitação do concreto;*
- **Cuidados requeridos pelo processo construtivo e pela retirada do escoramento**, *levando em consideração as peculiaridades dos materiais (em particular, do cimento) e as condições de temperatura ambiente;*
- *Atendimento aos requisitos da ABNT NBR 9062 para a liberação da protensão, da desforma e da movimentação de elementos pré-moldados de concreto;*
- **Verificação do atendimento aos requisitos desta Norma, pelos respectivos profissionais envolvidos;**
- *Efetuar a **rastreabilidade** do concreto lançado na estrutura.*

180

## **ABNT NBR 15575-1:2013** **“descreve responsabilidades”**

### **5. INCUMBÊNCIAS DOS INTERVENIENTES**

#### **✓ Construtor e incorporador:**

- *identificar os riscos previsíveis na época do projeto (incorporador e sua equipe técnica);*
- *elaborar o manual de operação uso e manutenção, ou documento similar, atendendo ao disposto na ABNT NBR 14037, com explicitação pelo menos dos prazos de garantia aplicáveis ao caso, previstos pelo construtor ou pelo incorporador, e citados no Anexo D (construtor ou incorporador).*

181





182



183



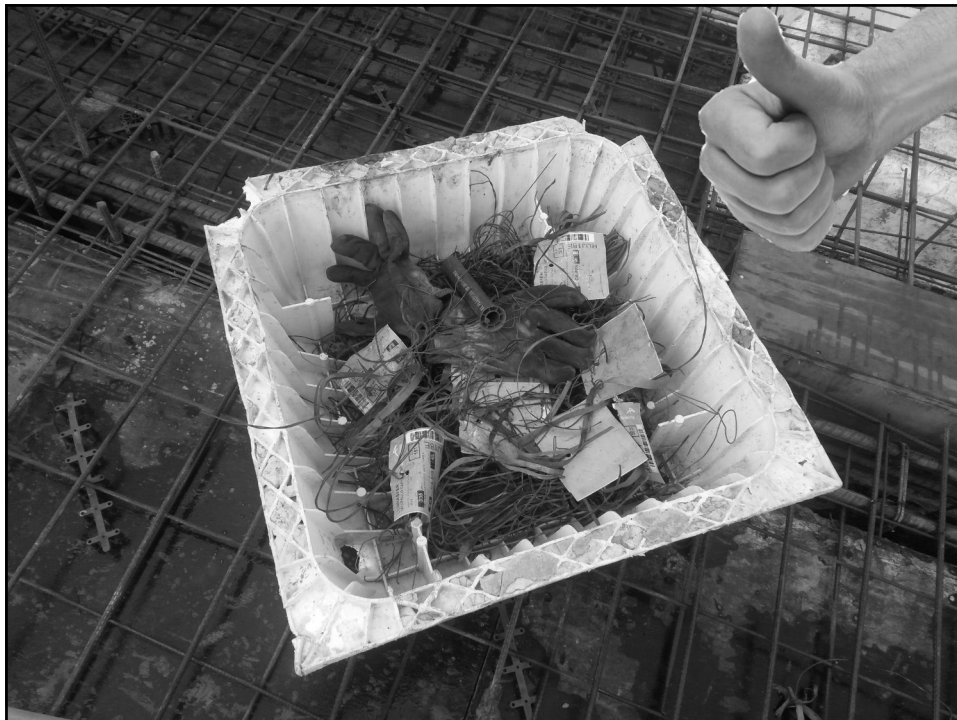
184



185



186



187

## Adensamento (vídeo)



188

## Cura



189

# Cura



190

# Cura



191





192

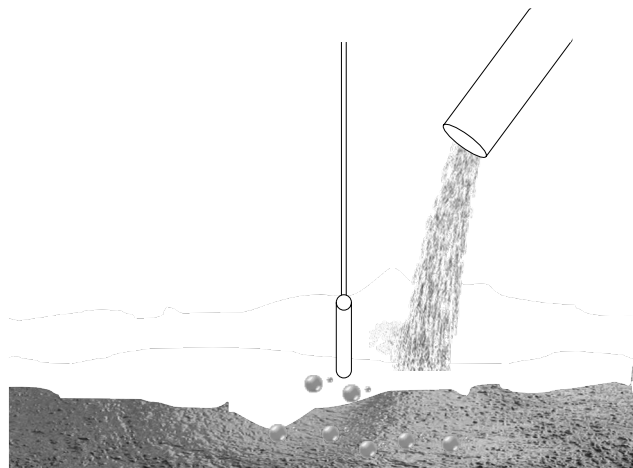
## Adensamento do concreto

A black and white photograph showing construction workers on a site. They are pouring concrete into a formwork structure. The concrete is being poured through a large pipe. The workers are wearing hard hats and safety gear. The rebar grid is visible in the foreground.

**Obra A** **Vídeo**

193

## Adensamento do concreto



194



195



196



197



- **Projeto**
- **Central de concreto**
- **Dosagem**
- **Insumos (materiais)**
- **Carta de traço**
- **Controle de recebimento**
- **Controle de aceitação**
- **Laboratórios de controle**
- **Execução**
- **Não conformidades**

198

## **NÃO CONFORMIDADES**

*ABNT NBR 7680:2015*

*“Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto”*

199

**ABNT NBR7680:2015  $f_{ck,ext,j}$**

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

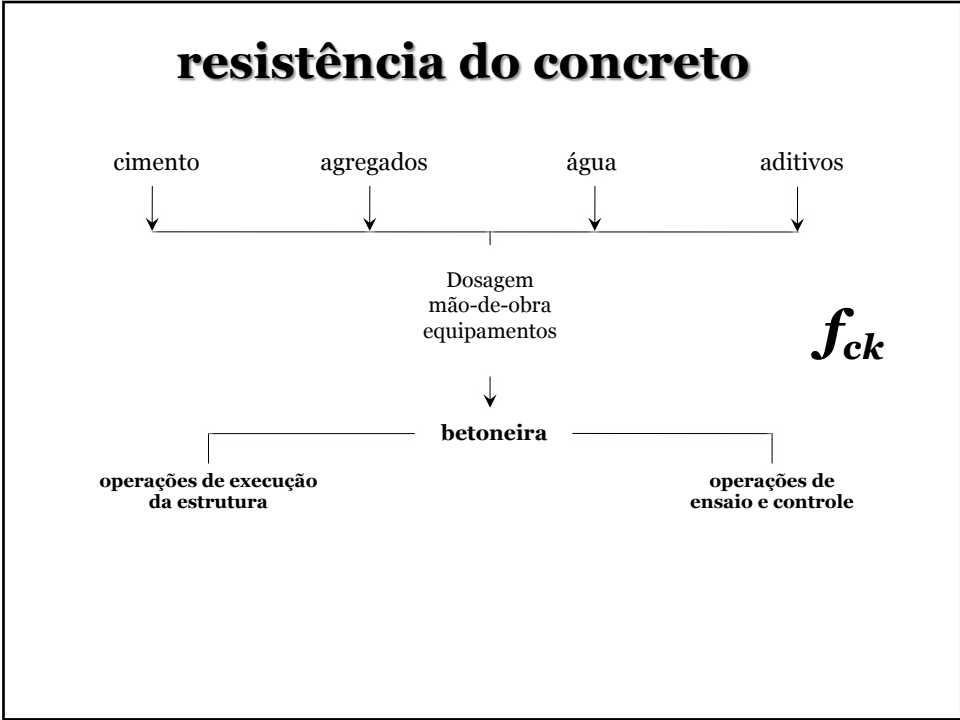
**ABNT NBR 12655:2015  $f_{ck,est}$**

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

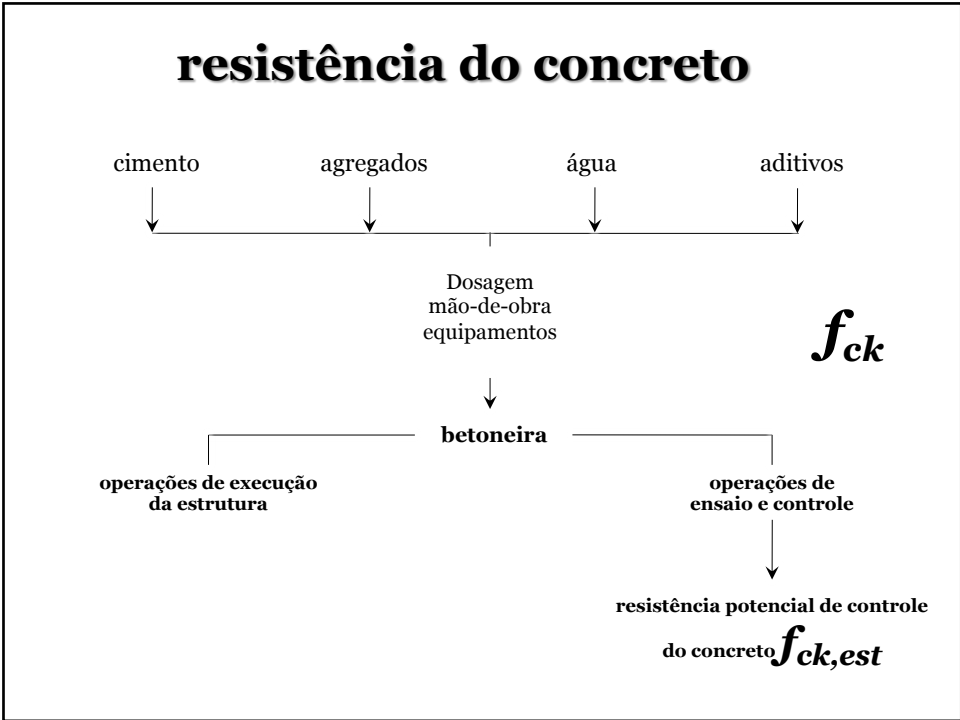
200



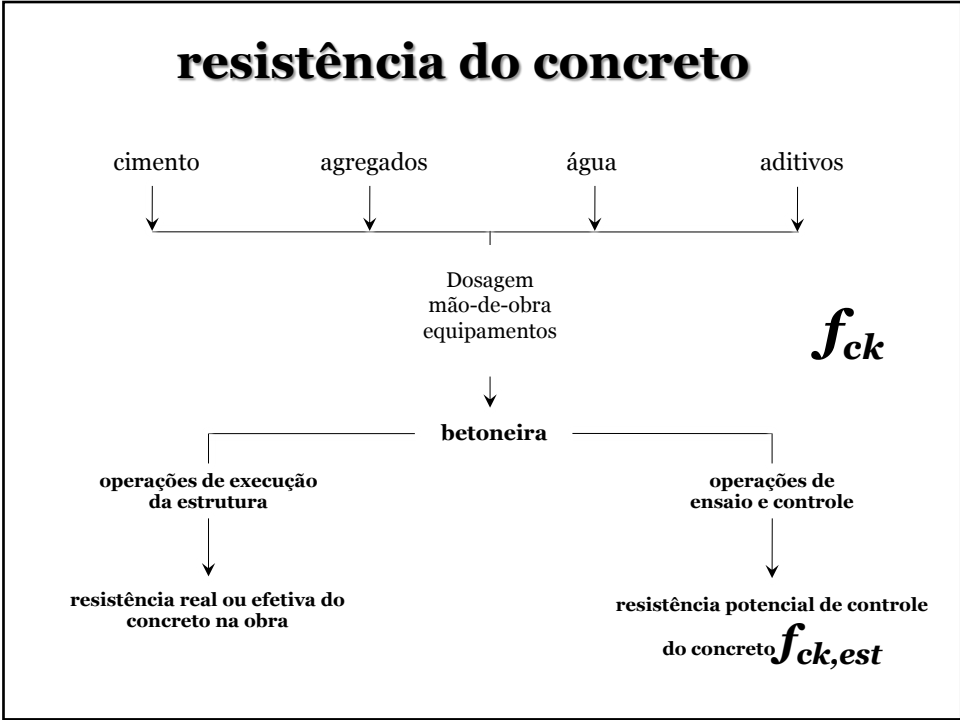
202



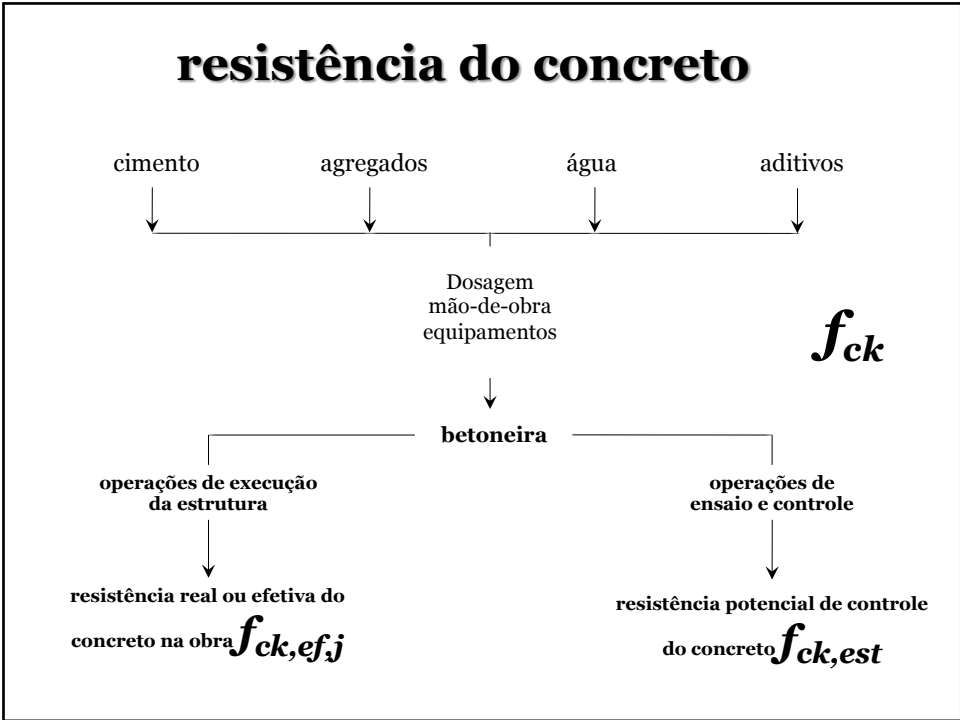
203



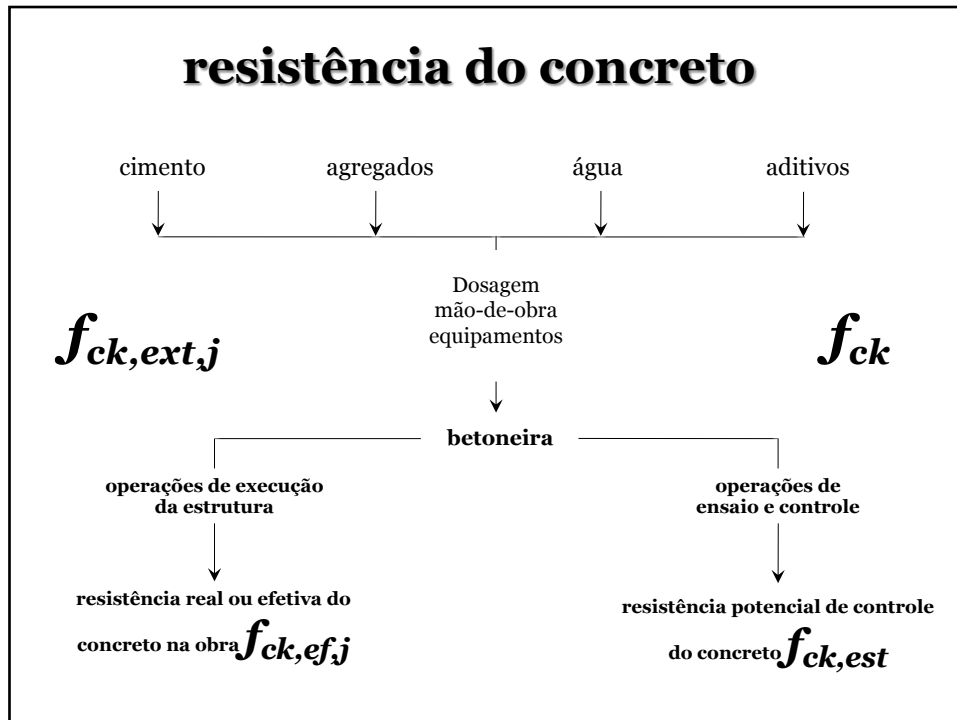
204



205



206



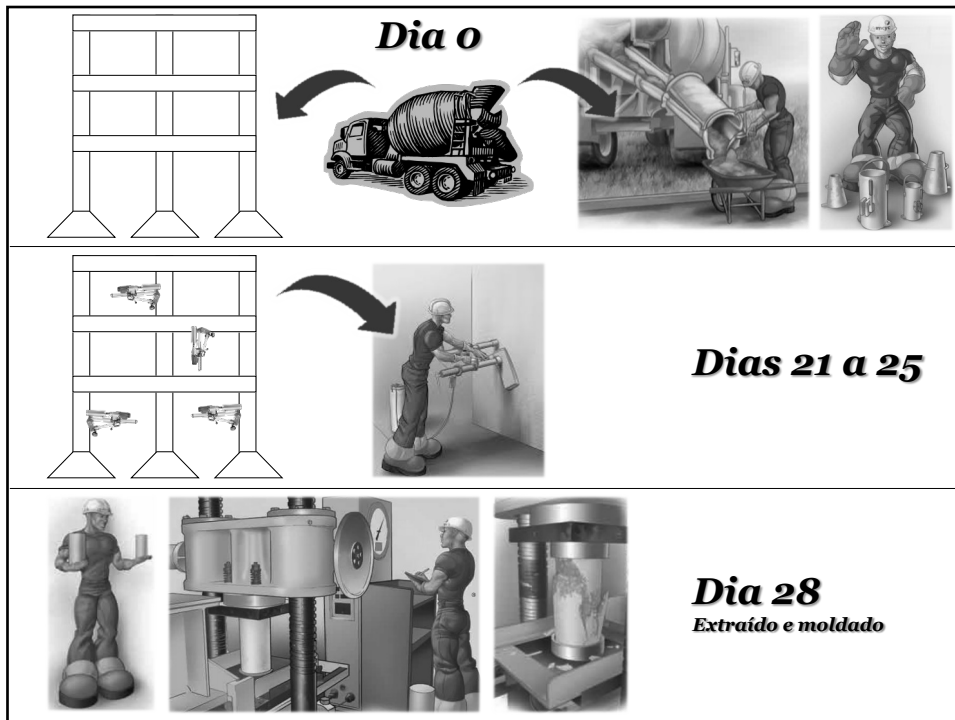
207

## 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**

208



209

## Conclusões

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

210

# Preliminares

**Conceitos:**

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

211

# Preliminares

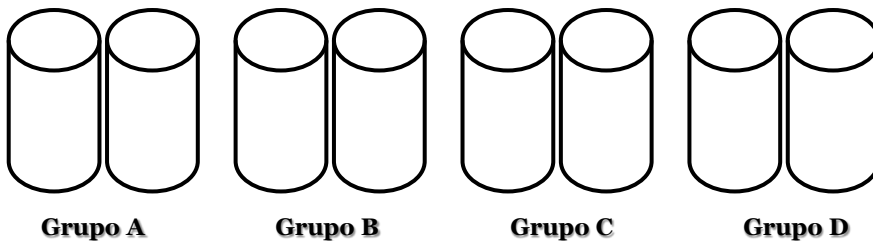
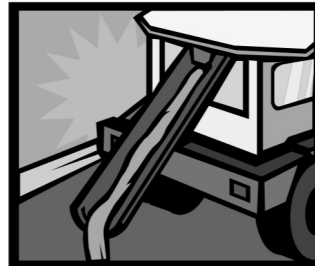
**encontrar um  $f_{ck}$  que viabilize revisar a  
segurança, ou seja, verificar a  
segurança conforme as convenções  
universais de projeto estrutural de  
ECAs**

212

## Como obter a maior resistência à compressão aos 28 dias?

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

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



213

quantas resistências tem o concreto de um caminhão betoneira?

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

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

$f_{ck,est} = 48,7\text{MPa}$

*“potencial do concreto”*

214



quantas resistências tem o concreto  
de um caminhão betoneira?

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

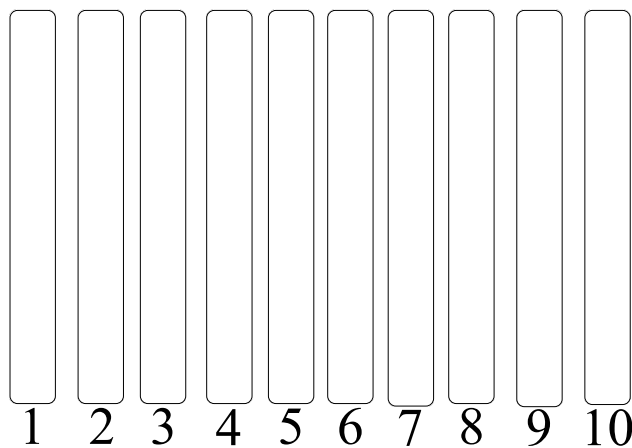
exemplar = mais alto ( $f_{ck,est}$ )

$$f_{ck,est} = 48,7\text{MPa}$$

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

215

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



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

216

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

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

217



218



219

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

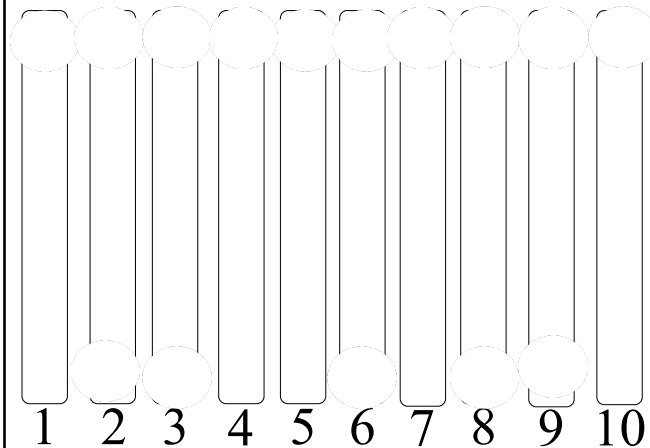
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

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

220

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

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

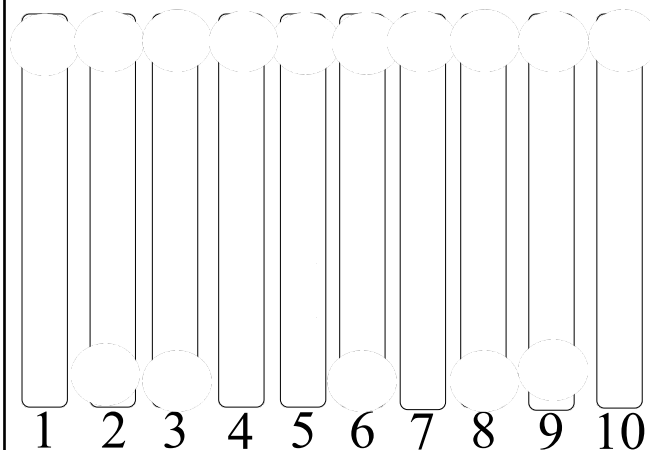


$f_{ck}$   
**45MPa**

221

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

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

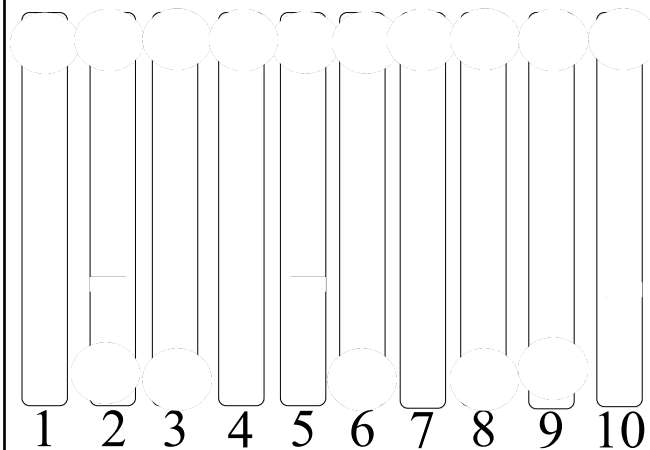


**terço inferior**

222

qual a resistência obtida de um pilar?

$f_{ck,ext}?$



terço inferior

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

223

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

Chapter 26. Construction Documents and Inspection.

Item 26.12.4 Investigation of low strength-test results:

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

$$(1) \quad \frac{f_{c1} + f_{c2} + f_{c3}}{3} \geq 0.85 * f_{ck}$$

(corresponde a  $f_{ck} = 1,18 * f_{ext,m}$  ou  $f_{ck} = 1,33 * f_{ext,min}$ )

$$(2) \quad f_{ci} \geq 0.75 * f_{ck}$$

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

224

## Problema

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

225

## ABNT NBR 7680:2015

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

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

226

## **Coeficientes de correção**

### **ABNT NBR 7680:2015**

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

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

$k_3$  = ...

$k_4$  = ...

227

## **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**

228



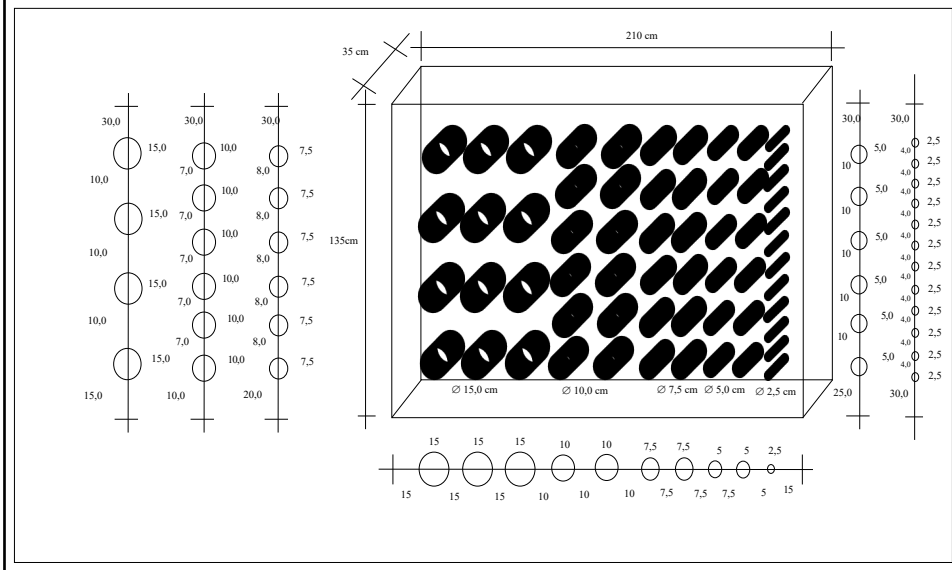
229



230



## BLOCO TIPO (210x135x35)cm



231



**Parede/bloco perfurada**

232

## Conclusão

Média geral:

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

233

## Coefficientes de correção ABNT NBR 7680:2015

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

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

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

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

*adensamento e cura*

234

## **Cálculos ABNT NBR 7680:2015**

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

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

235

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

*SIM*

*NÃO*

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

*voltar a 28dias !*

*ACI, Eurocode*

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

*ABNT NBR  
6118:2014*

*ABNT NBR  
6118:2014*

236

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

*Chapter 26. Construction Documents and Inspection.*

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

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

237

**ARGENTINA**

Vialidad Nacional, en el Pliego de Especificación Técnica Particular, del Control de Hormigones para Obras de Arte Mayores, en su art.10 dice:

”... no es válido retrotraer o proyectar valores de resistencia de probetas o de testigos de distintos hormigones con fórmulas para la verificación del cumplimiento de exigencias de Pliego, debiendo utilizarse a estos fines y para los estudios estadísticos, únicamente resultados de probetas o testigo a la edad del ensayo. El uso de ecuaciones queda restringido a la aplicación estimativa interna del laboratorio ...”

238

### **Considerações** *(Comunidades TQS e Bahia)*

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

239

## **Incertezas ...**

## **Desconhecimentos ...**

240

Estaria assim cumprida a primeira parte, ou seja,

**transformar  $f_{c,ext,j}$  em  $f_{ck}$ ?**

NÃO

*voltar a 28dias !*

**COMO ???**

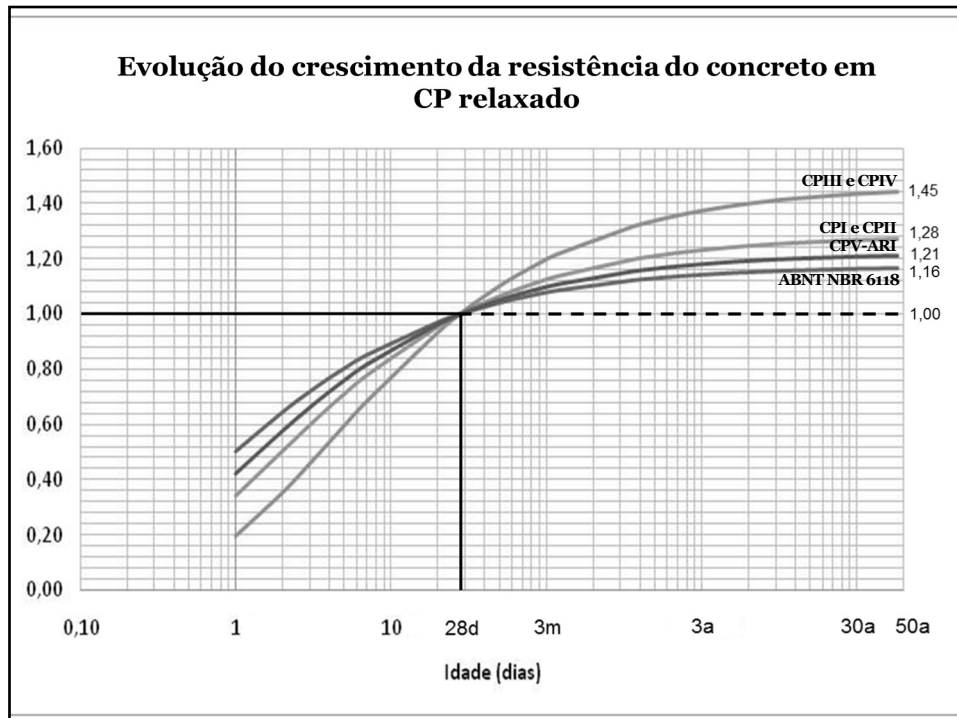
241

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

## Crescimento da Resistência

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

242



243

### Decréscimo da Resistência (efeito Rüsçh)

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

→ **j** em dias  
→ **j - 28** > 15 minutos

244

### **Considerações** *(Comunidades TQS e Bahia)*

1. Qual a carga que realmente começa a reduzir a resistência?
2. Modelo para uma condição idealizada de laboratório?
3. Qual a história efetiva de carregamento?
4. Teria influência a cura, adensamento, temperatura, UR, cargas cíclicas, carbonatação,...

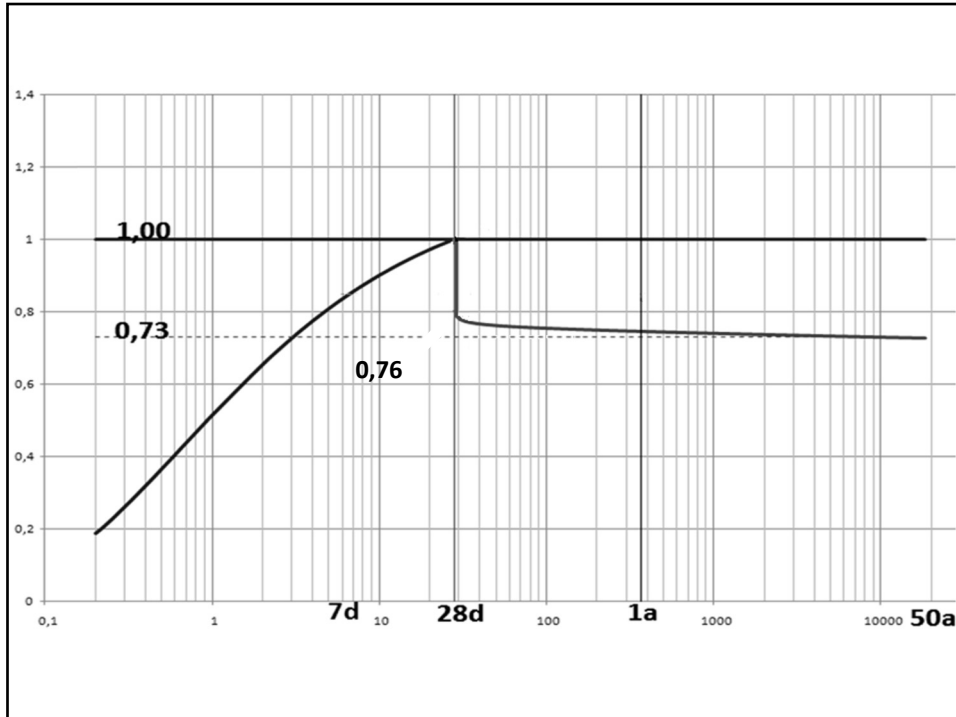
245

## **Incertezas ...**

## **Desconhecimentos ...**

246

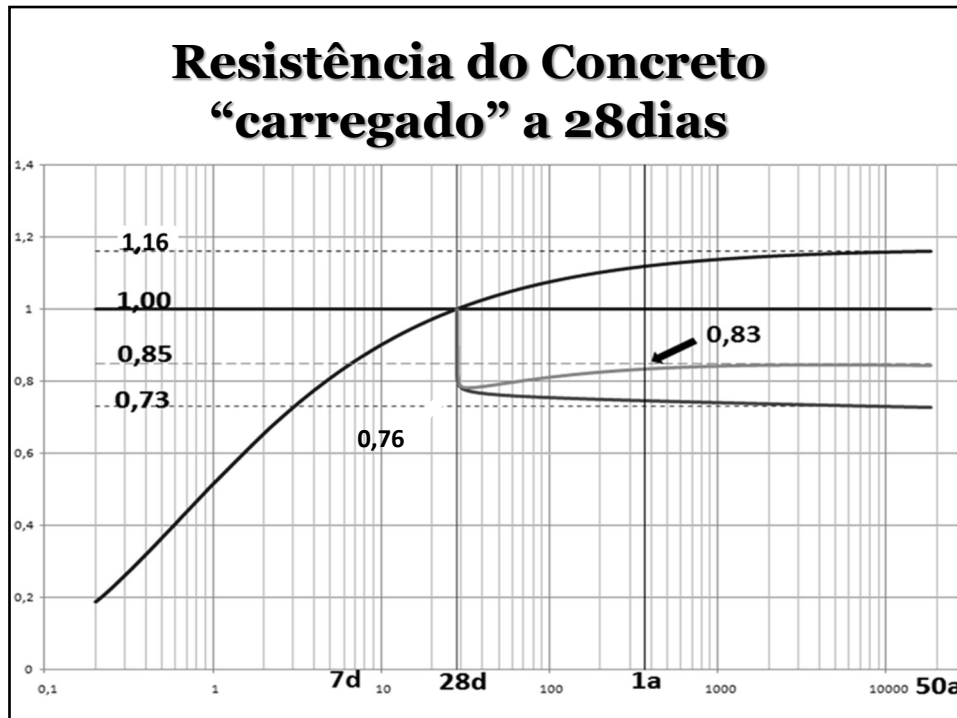




247

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

248



249

## Problema

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

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

250

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

## Retorno a 28 dias

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

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

251

# Procedimento Recomendável de Produção e Controle

252

1. Dosar para uma resistência média =  $f_{ck} + 7$  MPa;
2. Moldar CPs de todos os caminhões, no caso de pilares;
3. Moldar CPs de um caminhão sim, outro não, no caso de vigas e lajes;
4. Moldar 3 CPs por amassada (caminhão) com amostra retirada do terço médio do volume do balão;
5. Romper dois CPs aos 28 dias, mas tomar os devidos cuidados com a qualidade dos topos (retificar) ou se for empregado neoprene, seguir a ASTM e usar no máximo 100 vezes um mesmo neoprene (exigência da ASTM);
6. Romper um CP aos 63 dias, sempre com muito cuidado e qualidade de ensaio;
7. Resultados aos 28 dias, individuais, superiores a  $0,9 * f_{ck}$ , podem ser aceitos, desde que não se repitam numa sequência de três, ou seja, para 300 pode se aceitar 350; 312; 270; 329; 361, ou seja, nunca se pode aceitar valores inferiores a  $f_{ck}$  em sequência: um inferior e 3 superiores, depois um inferior e etc..;
8. Caso os resultados sejam inferiores a  $0,9 * f_{ck}$ , aguardar os resultados de 63 dias, que devem ser superiores a  $f_{ck}$ ;
9. Caso os resultados de 28 dias e 63 dias sejam inferiores a  $0,9 * f_{ck}$ , extrair testemunhos;
10. Extrair 3 testemunhos com muito cuidado e qualidade de cada betonada, ou melhor, desta betonada. A média dos 3 deve ser igual ou superior a  $0,85 * f_{ck}$  e o mais baixo deve ser igual ou superior a  $0,75 * f_{ck}$ ;
11. Caso não estejam conformes com este critério, revisar o projeto estrutural com o novo  $f_{ck}$ , mas modificando o coeficiente de redução;
12. Se não passar, o elemento estrutural em questão deverá ser reforçado.

253

## ***Estruturas de Concreto para Edificações***

Atividade profissional regida por normas técnicas:

- de PROJETO
- de MATERIAIS
- de EXECUÇÃO
- de CONTROLE
- de OPERAÇÃO & MANUTENÇÃO
- e, Complementares (NR4; NR 6; NR9; NR18 do MT, PMS)

que têm força de lei por conta do CDC

254



255



256

### **Documentos exigidos por algumas empresas no CONTRATO**

- ✓ **Contrato ou Estatuto Social, com última alteração;**
- ✓ **Comprovante de inscrição junto ao CNPJ/MF;**
- ✓ **Comprovante de Inscrição Estadual – DECA ou declaração de isenção de inscrição emitida por contador;**
- ✓ **Comprovante de Inscrição Municipal;**
- ✓ **Certidão Negativa de Débito junto ao INSS;**
- ✓ **Certidão Negativa Conjunta de Débitos Relativos a Tributos Federais e a Dívida Ativa da União;**
- ✓ **Certidão Negativa de Débito de Tributos Estaduais ou Declaração de isenção de inscrição estadual;**
- ✓ **Certidão Negativa de Débito de Tributos Municipais;**
- ✓ **Certidão de Regularidade junto ao FGTS (CRF);**
- ✓ **RG, CPF e comprovante de endereço do representante legal;**
- ✓ **Prova do Registro no CREA pertinente à atividade exercida pela empresa.**

257

### **Documentos Exigidos para Pagamentos**

**Cópia dos seguintes documentos relativos a competência do mês imediatamente anterior:**

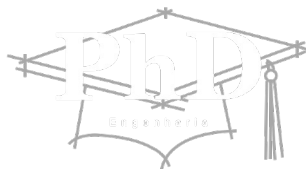
- ✓ **GPS (Guia da Previdência Social – INSS);**
- ✓ **GFIP/SEFIP (Guia do Fundo de Garantia e Informação à Previdência) ou Declaração de ausência de fato gerador para recolhimento de FGTS completa (GFIP/SEFIP) ;**
- ✓ **GRF (Guia de Recolhimento do Fundo de Garantia);**
- ✓ **Folha de Pagamento mensal completa dos funcionários;**
- ✓ **Comprovante de recolhimento do ISS (Imposto sobre Serviços);**
- ✓ **Declaração do contador comprovando a escrituração contábil regular da empresa;**
- ✓ **Declaração do contador atestando que não há recolhimento de GPS e de FGTS;**
- ✓ **Declaração do contador atestando que não há retirada de pró-labore do(s) sócio(s) da empresa;**
- ✓ **ART do CREA referente ao serviço.**

258

# Por que não exigir os ensaios e documentações técnicas?

259

# OBRIGADO !



*"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"*

[www.phd.eng.br](http://www.phd.eng.br)

11-2501-4822 / 23

11-95045-5408

260