



Controle da Resistência do Concreto - Teoria, conceitos e normas aplicáveis



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

Paulo Helene

*Diretor PhD Engenharia
Prof. Titular Universidade de São Paulo USP
Conselheiro Permanente Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON
Member fib(CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures
Presidente ALCONPAT*

EGELTE

23 de agosto de 2013

Campo Grande - MS

1

*Controle da Resistência à
Compressão do Concreto, ou*

*Controle da/de Qualidade do
Concreto, ou*

*Controle da Conformidade do
Concreto, ou*

Controle Tecnológico do Concreto

PhD Engenharia

2

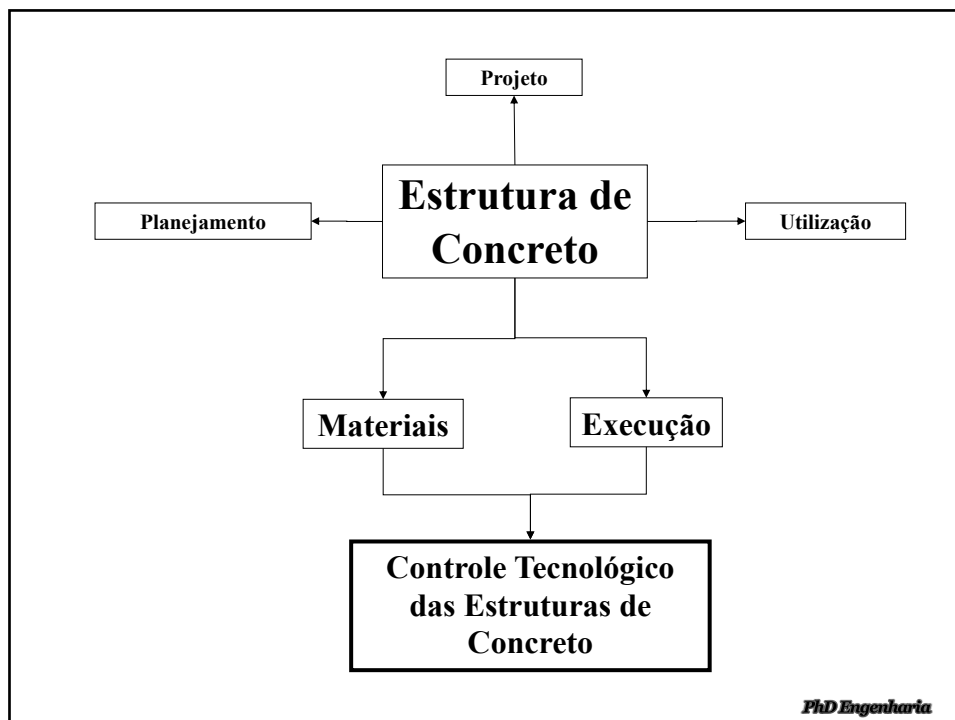
Qualidade no processo de produção do concreto

Deve estar inserida no “Sistema de Gestão pela Qualidade”

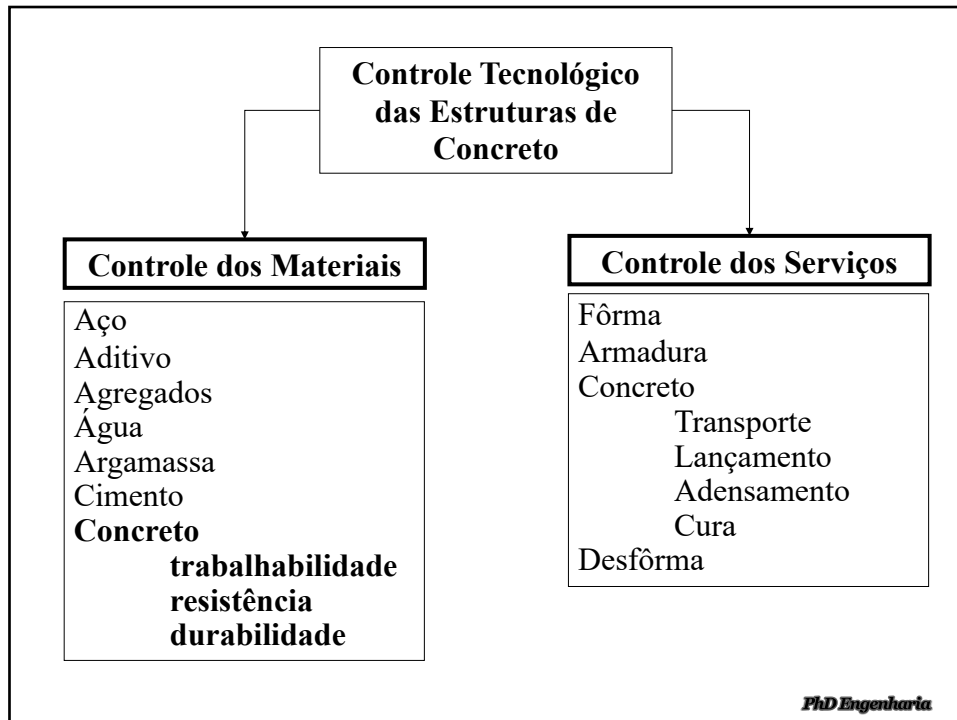
- (Item 7.5.1 d da ISO 9001:2000)
“A organização deve planejar e conduzir sua produção e prestação de serviço sobre condições controladas. Condições controladas devem incluir, quando aplicável (...) a disponibilidade e uso de dispositivos de medição e monitoramento (...)”
- (Item 7.6 da ISO 9001:2000)
“ A organização deve determinar os monitoramentos e medições (...) necessários para fornecer evidências da **conformidade do produto aos requisitos determinados.**”

PhD Engenharia

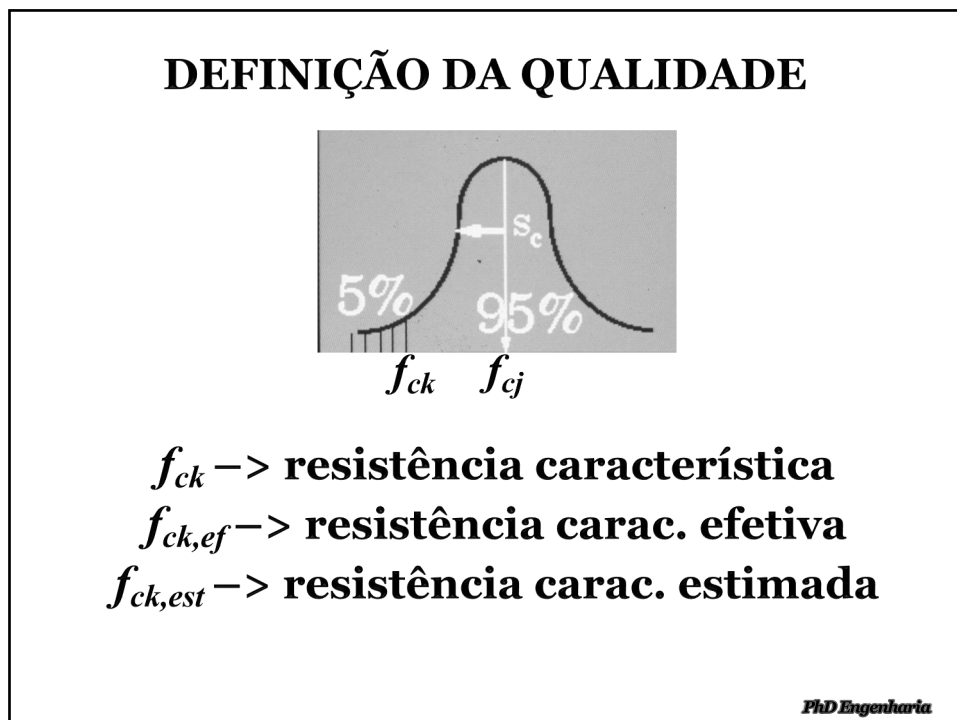
3



4



5



6

Concreto – Controle da resistência

- Leva em conta conceitos da estatística
- Pressupõe entrosamento entre projeto, construção e segurança
- Pode ser feito na produção na usina.
- Pode ser feito no recebimento na obra.

PhD Engenharia

7

Concreto – Controle da resistência

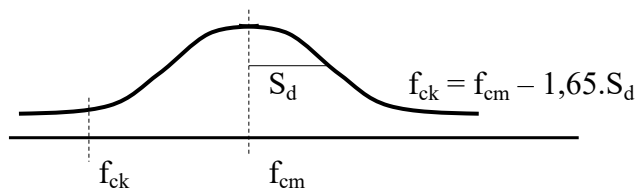
Valores Característicos

- Definido segundo um quantil: uma probabilidade pré-estabelecida como aceitável para a ocorrência de falha.
- Um quantil de 5% significa que em apenas 5% dos casos a resistência do material será superada.
- O valor característico é o parâmetro de controle da qualidade do material determinado a partir de amostras.

PhD Engenharia

8

Valores Característicos

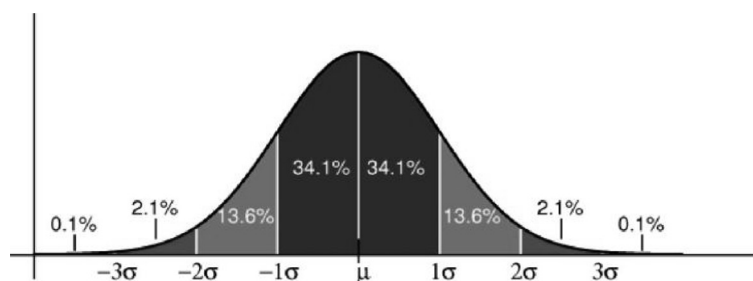


f_{ck}	Valor de referência adotado p/projetista no dimensionamento
$f_{ck,ef}$	Valor real ou efetivo correspondente ao concreto de uma região homogênea da estrutura
$f_{ck,est}$	Valor estimado correspondente ao concreto de uma região homogênea da estrutura

PhD Engenharia

9

Incerteza (variabilidade) da Resistência do Concreto

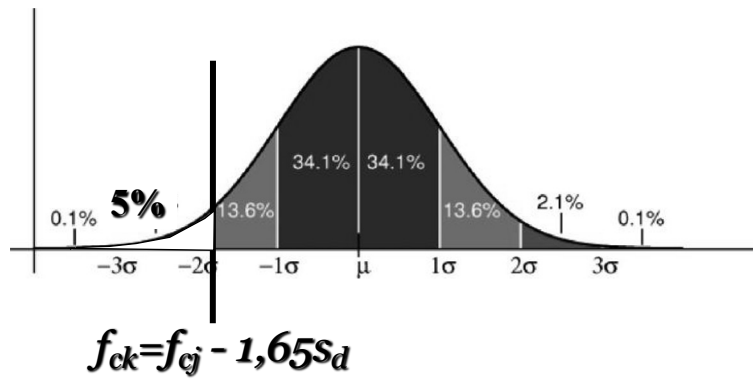


Distribuição Normal (Gauss)

PhD Engenharia

10

Resistência Característica do Concreto



PhD Engenharia

11

ESTATÍSTICA

- Universo
- População
- Amostra
- Unidade de produto



PhD Engenharia

12

Universo / população

μ média

σ desvio padrão

δ coeficiente de variação



PhD Engenharia

13

Universo / população

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}}{n} \quad \text{média}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - \mu)^2}{n}} \quad \text{desvio padrão}$$

$$\delta = \frac{\sigma}{\mu} \cdot 100 \quad \text{coeficiente de variação}$$

PhD Engenharia

14

Amostra

f_{cm}	média
s_c	desvio padrão
v_c	coeficiente de variação



PhD Engenharia

15

Amostra

$$f_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^p f_{ci}}{p} \quad \text{média}$$

$$s_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p (f_{ci} - f_{cm})^2}{p - 1}} \quad \text{desvio padrão}$$

$$v_c = \frac{s_c}{f_{cm}} \cdot 100 \quad \text{coeficiente de variação}$$

PhD Engenharia

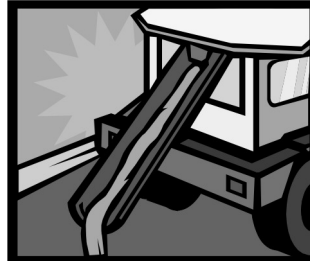
16

Unidade de Produto

Metro cúbico?

Área concretada?

Amassada?

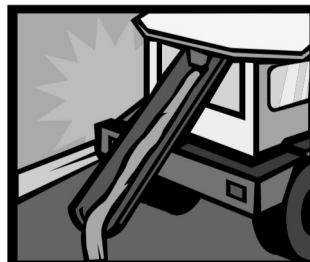


PhD Engenharia

17

**unidade de produto
=
exemplar**

uma amassada

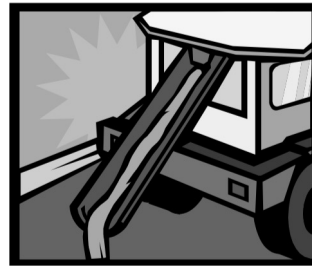


PhD Engenharia

18

unidade de produto
=
exemplar

uma amassada
1 ou 2 corpos de
prova



PhD Engenharia

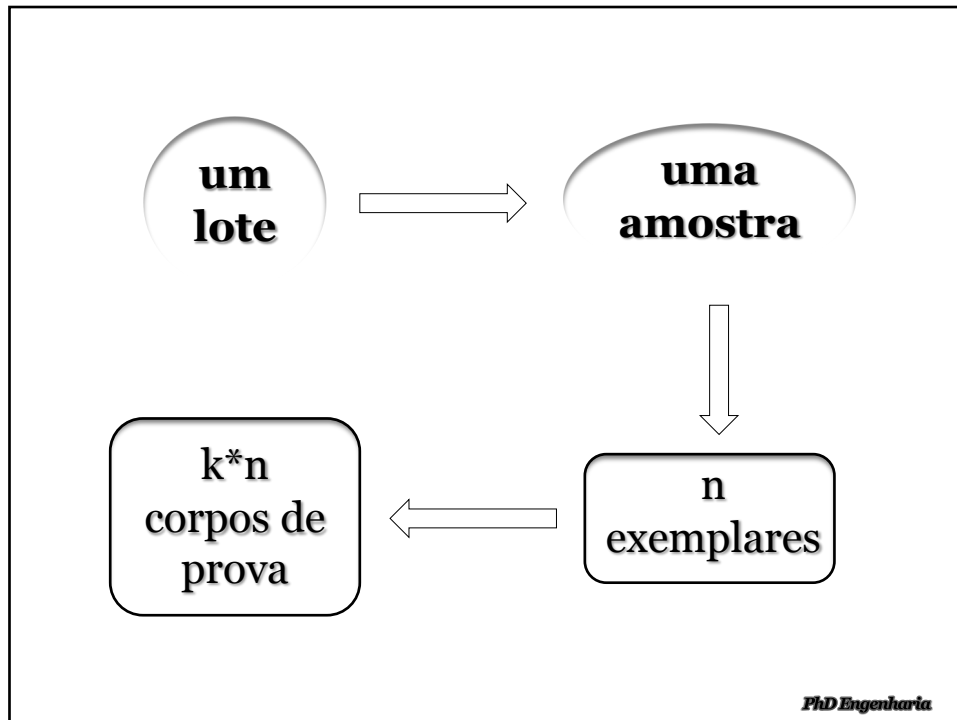
19

Resultado do exemplar
Unidade de produto
média ou o maior?

$$v_c^2 = v_{c,f}^2 + v_e^2 / q$$

PhD Engenharia

20



21

Estatística - Definições

Termo	Definição
Lote	Volume de concreto que foi produzido em iguais condições (traço, materiais, equipamentos de mistura, i. e., de mesma população) e é submetido a julgamento de uma só vez.
Unidade de produto	Correspondente a cada amassada, qualquer que seja o volume da betoneira.
Exemplar	Valor de resistência à compressão fci que representa uma unidade de produto (valor mais alto dos dois cp's.).
Amostra	Conjunto de exemplares que se admite com representativos de um lote.
Tamanho da amostra	Número de exemplares que constituem uma amostra.

PhD Engenharia

22

Lote → População

controle de
aceitação

NBR 6118/2007

usuais

100m³

500m²

1 andar

2 semanas

-

grandes obras

500m³

-

-

1 semana

-

PhD Engenharia

23

Lote → População

controle de
aceitação

NBR 12655/2006

compressão

50m³

-

3/5 dias

25 amassadas

flexão

100m³

-

3/5 dias

50 amassadas

PhD Engenharia

24

Tamanho da amostra

NBR 6118

≥ 6 reduzido

≥ 12 normal

≥ 18 rigoroso

NBR 12655

≥ 6 grupo I

≥ 12 grupo II
(≥ 50 MPa)

PhD Engenharia

25

18m³: pilares de um andar

1. Caminhão betoneira

3 caminhões = 3 u.p.

∴ população = 3 f_{ci}

2. Betoneira de obra 500L

18*3 = 54 betonadas = 54 u.p.

∴ população = 54 f_{ci}

PhD Engenharia

26

- pilares 18m³

**Caminhões betoneira
3 caminhões = 3 exemplares**

$$f_{c1} \leq f_{c2} \leq f_{c3}$$
$$25,5 \leq 27,5 \leq 29,0 \text{ MPa}$$

Amostragem total (100%)

$$\therefore f_{ck,est} = f_{c1} = 25,5 \text{ MPa}$$

PhD Engenharia

27

PILARES 18m³

Betoneira 500L nominal (2 sacos):

**18m³*3 = 54 betonadas
∴ amostra com ≥ 6 exemplares
Uma betonada a cada 9**

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

$$25,5 \leq 27,5 \leq 29,0 \leq 31,7 \leq 33,9 \text{ MPa}$$

PhD Engenharia

28

Amostragem parcial (48 amassadas desconhecidas)

$f_{ck,est}$ – estimador de qualidade

$$f_{ck,est} = 2 \cdot \frac{f_{c1} + f_{c2}}{2} - f_{c3}$$

$$f_{ck,est} \cong \psi_6 \cdot f_{c1}$$

$$\therefore f_{ck,est} \rightarrow 24 \text{ MPa}$$

PhD Engenharia

29



PhD Engenharia

30

Fatores que influenciam na qualidade

±12% cimento
±15% água
±8% agregados

-15% equipamento
-30% mão de obra

-25% operações de ensaio

PhD Engenharia

31

Operações de ensaio

$$s_e = \frac{\sum_{i=1}^q A_i}{q \cdot 1,128} \quad \text{Desvio padrão}$$

$$v_e = \frac{s_e}{f_{cm}} \cdot 100 \quad \text{Coeficiente de variação}$$

PhD Engenharia

32

Muito bom $v_e = 3,0\%$

Razoável $v_e = 5,5\%$

Deficiente $v_e = 7,0\%$

PhD Engenharia

33

AÇÕES BÁSICAS

- Definição da Qualidade**
- Treinamento e motivação das equipes**
- Gestão do Sistema**

PhD Engenharia

34

CONTROLE DA QUALIDADE

1. Definição da qualidade
2. Fatores que influem na qualidade
3. Controle de produção
4. Controle de Aceitação
5. Retroalimentação do processo

PhD Engenharia

35

Controle de processos e produtos, quanto à finalidade

	Controle de produção	Controle de recebimento
QUEM o faz?	O produtor	O receptor / comprador
O QUE se procura?	Oferecer a qualidade especificada ao menor custo	Comprovar a qualidade especificada com o menor risco possível
ATUA sobre	O processo e o produto (saída)	O produto
VARIÁVEIS do controle	As mais cômodas (correlações)	As mais representativas
TÉCNICAS empregadas	- Gráficos de controle, com registros contínuos - Limites estatísticos para controle do processo	- Tabelas de amostragem - Critérios estatísticos para Aceitação/Rejeição

Normas ABNT para controle de produção: NBR 12654 e NBR 12655

Normas ABNT para controle de aceitação: NBR 12655 e NBR 6118

PhD Engenharia

36

Tipos de controle, em processos e produtos:

■ Controle por atributo

Através de inspeções qualitativas do processo ou do produto.

Por exemplo, na estrutura de concreto, identificar a ocorrência de defeitos como:

- Nichos de concretagem (“bicheiras”);
- Fissuras
- Consistência, slump

■ Controle por variável

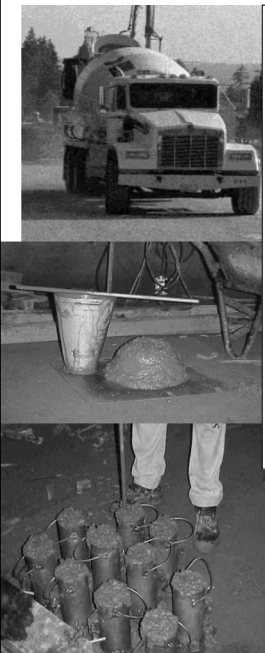
Através de propriedades que podem ser quantificadas, por métodos previamente definidos.

Por exemplo, na produção do concreto estrutural:

- Resistência à compressão do concreto em determinadas idades.

PhD Engenharia

37




Controle

- Coleta
- Adensamento
- Acabamento
- Cura inicial
- Transporte
- Cura até o ensaio
- Preparo topos
- Carregamento
- Ruptura

$f_{ck,est}$

As condições dos concretos que vão para o ensaio,...



Obra

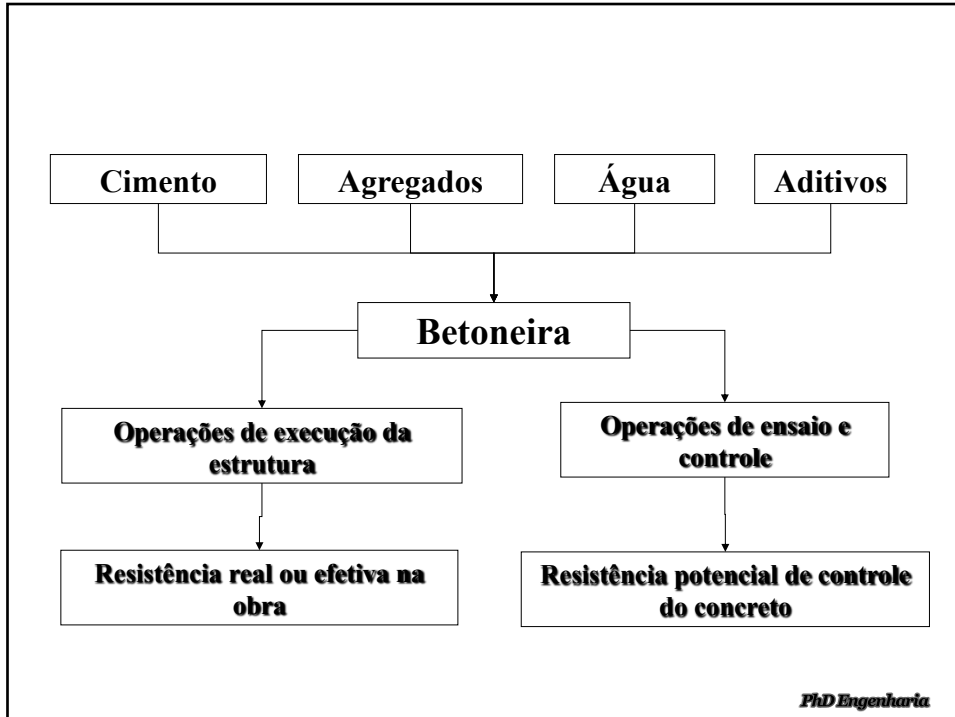
- Descarga
- Transporte
- Lançamento
- Adensamento
- Acabamento
- Cura

$f_{ck,ef}$

... São diferentes das condições reais na obra.

PhD Engenharia

38



39

Tabela resumo da NBR 12655/06 para o CONTROLE ESTATÍSTICO da resistência à compressão do concreto

Critério para formação de lote		Amostragem	Cálculo do fck estimado		Obs.
solicitação da peça			nº exemplares	Fórmula	
Copressão ou Compressão e Flexão	Flexão Simples				
50 m³	100 m³	Parcial	6 ≤ n < 20	$fck_{est} = \frac{2(f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}) - f_m}{m-1}$ onde: m = n/2. Despreza-se o valor mais alto de n, se for ímpar.	1 e 2
1 andar	1 andar		n ≥ 20	$fck_{est} = f_{cm} - 1,65.S_d$	4 e 3
3 dias de concretagem	3 dias de concretagem	Total	n ≤ 20	$fck_{est} = f_1$	2
			n > 20	$fck_{est} = f_i$	4
≤ 10 m³		Casos excepcionais	2 ≤ n ≤ 5	$fck_{est} = \Psi_6.f_1$	5

40

40

Controle estatístico da resistência à compressão do concreto

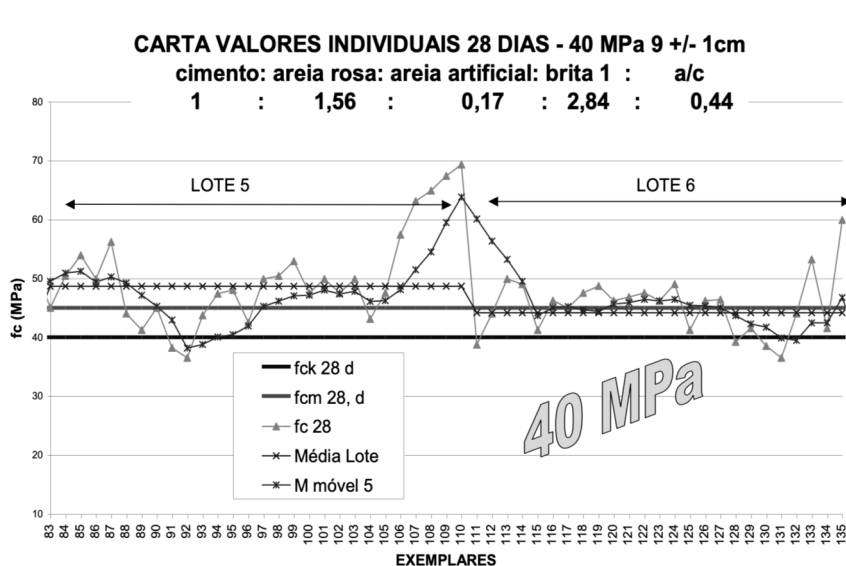
Observações:

- (1) A amostra representativa do lote é constituída por "n" exemplares. Cada exemplar é constituído por 2 corpos-de-prova, moldados conforme a NBR 5738, da mesma amassada e no mesmo ato, para cada idade de ensaio.
- (2) f_1, f_2, \dots, f_m = valores das resistências dos "m" exemplares de menor resistência da amostra, em ordem crescente, sendo $m = n/2$ (para n par) e $m = n - \frac{1}{2}$ (para n ímpar). Toma-se como resistência do exemplar o maior dos 2 valores obtidos no ensaio dos corpos-de-prova constituintes do exemplar.
- (3) f_{cm} = resistência média dos exemplares do lote, em MPa.
- (4) $i = 0,05 n$. Se i for fracionário, adota-se o número inteiro imediatamente superior.
- (5) Ψ_6 = ver tabela 3 - NBR 12655/03, função do número de exemplares do lote.

PhD Engenharia

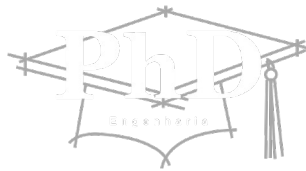
41

Controle por variável na produção — carta de valores da resistência



42

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

www.concretophd.com.br
www.phd.eng.br

11-2501-4822 / 23
11-7881-4014

PhD Engenharia