



# 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

PhD Engenharia  
Campo Grande - MS

1

## ESTATÍSTICA

- Universo
- População
- Amostra
- Unidade de produto



PhD Engenharia

2

## Universo / população

$\mu$  média

$\sigma$  desvio padrão

$\delta$  coeficiente de variação



**PhD Engenharia**

3

## 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**

4

## Amostra

|          |       |                         |
|----------|-------|-------------------------|
| $f_{cm}$ | ..... | média                   |
| $s_c$    | ..... | desvio padrão           |
| $v_c$    | ..... | coeficiente de variação |



**PhD Engenharia**

5

## 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**

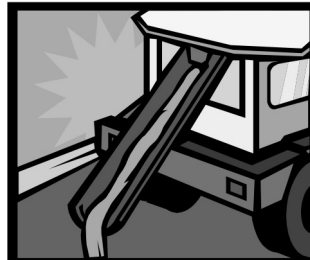
6

## Unidade de Produto

Metro cúbico?

Área concretada?

Amassada?

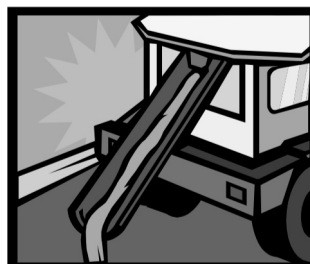


*PhD Engenharia*

7

**unidade de produto  
=  
exemplar**

uma amassada



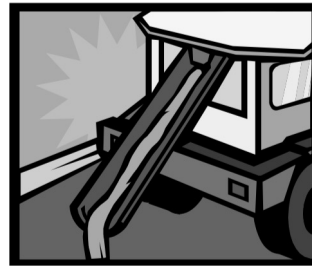
*PhD Engenharia*

8



**unidade de produto**  
=  
**exemplar**

uma amassada  
1 ou 2 corpos de  
prova



*PhD Engenharia*

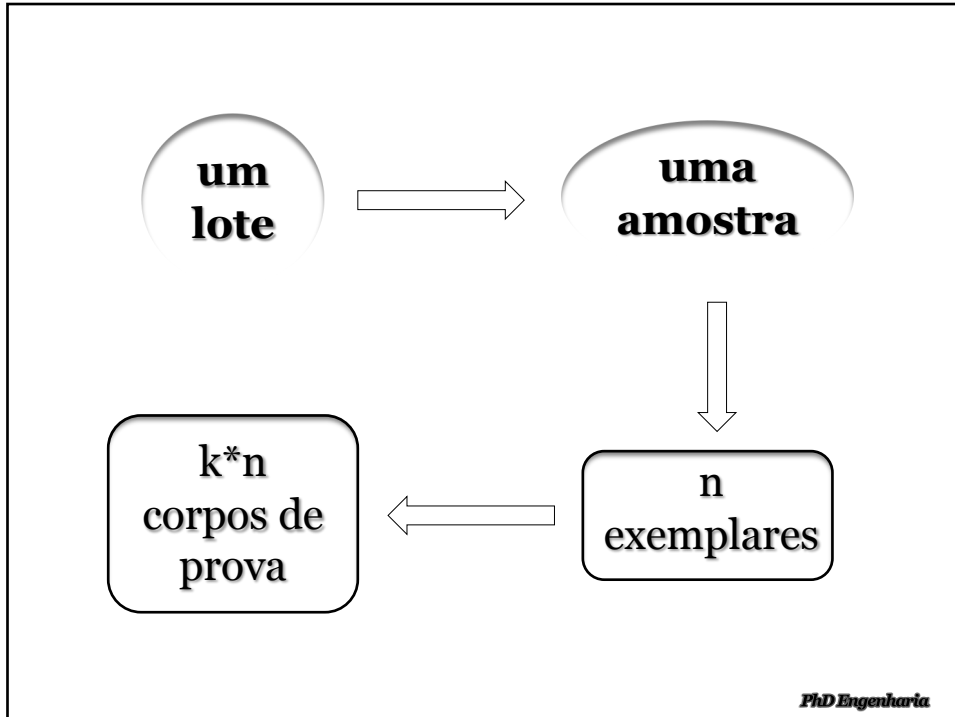
9

Resultado do exemplar  
Unidade de produto  
média ou o maior?

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

*PhD Engenharia*

10



11

| Lote → População     |  | controle de aceitação |
|----------------------|--|-----------------------|
| <b>NBR 6118/2007</b> |  |                       |
| <b>usuais</b>        |  | <b>grandes obras</b>  |
| 100m <sup>3</sup>    |  | 500m <sup>3</sup>     |
| 500m <sup>2</sup>    |  | -                     |
| 1 andar              |  | -                     |
| 2 semanas            |  | 1 semana              |
| -                    |  | -                     |

*PhD Engenharia*

12

Lote → População

controle de  
aceitação

NBR 12655/2006

compressão

50m<sup>3</sup>

-

3/5 dias

25 amassadas

flexão

100m<sup>3</sup>

-

3/5 dias

50 amassadas

*PhD Engenharia*

13

## Tamanho da amostra

NBR 6118

≥ 6 reduzido

≥ 12 normal

≥ 18 rigoroso

NBR 12655

≥ 6 grupo I

≥ 12 grupo II  
(≥ 50 MPa)

*PhD Engenharia*

14

## Fatores que influenciam na qualidade

±12% cimento  
±15% água  
±8% agregados

-15% equipamento  
-30% mão de obra

-25% operações de ensaio

*PhD Engenharia*

16

## 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*

17

**Muito bom**  $v_e = 3,0\%$

**Razoável**  $v_e = 5,5\%$

**Deficiente**  $v_e = 7,0\%$

*PhD Engenharia*

18

**18m<sup>3</sup>: 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*

19

## **- pilares 18m<sup>3</sup>**

**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*

20

## **PILARES 18m<sup>3</sup>**

**Betoneira 500L nominal (2 sacos):**

**18m<sup>3</sup>\*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*

21

## 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*

22



*PhD Engenharia*

23

## **AÇÕES BÁSICAS**

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

*PhD Engenharia*

24

## **CONTROLE DA QUALIDADE**

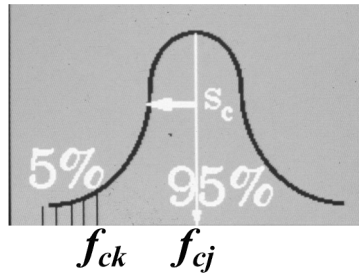
- 1. Definição da qualidade**
- 2. Fatores que influem na qualidade**
- 3. Controle de produção**
- 4. Controle de Aceitação**
- 5. Retroalimentação do processo**

*PhD Engenharia*

25



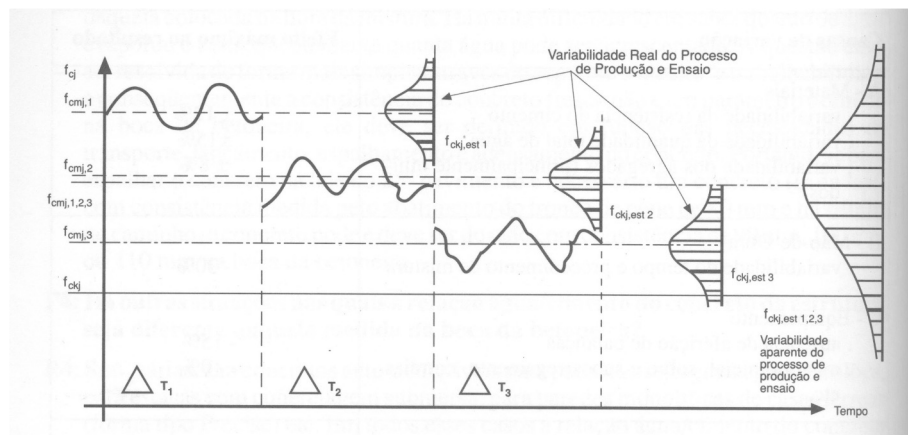
## DEFINIÇÃO DA QUALIDADE



$f_{ck}$  → resistência característica  
 $f_{ck,ef}$  → resistência carac. efetiva  
 $f_{ck,est}$  → resistência carac. estimada

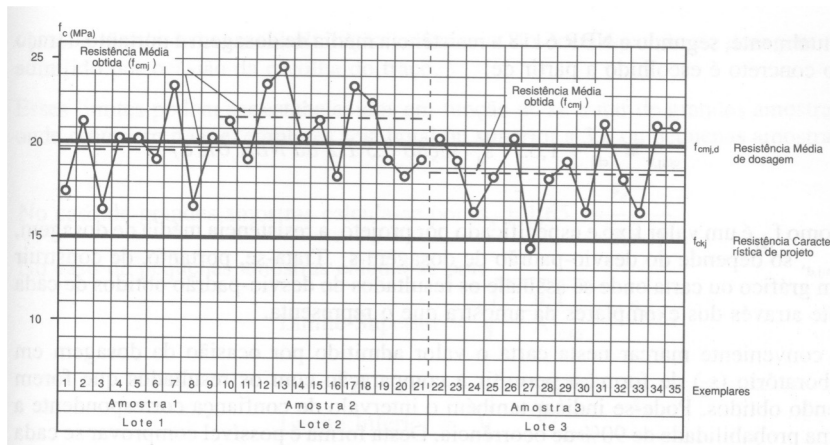
PhD Engenharia

26



PhD Engenharia

27



Carta de controle de qualidade da produção do concreto com base nos resultados individuais ( $f_{c,i}$ )

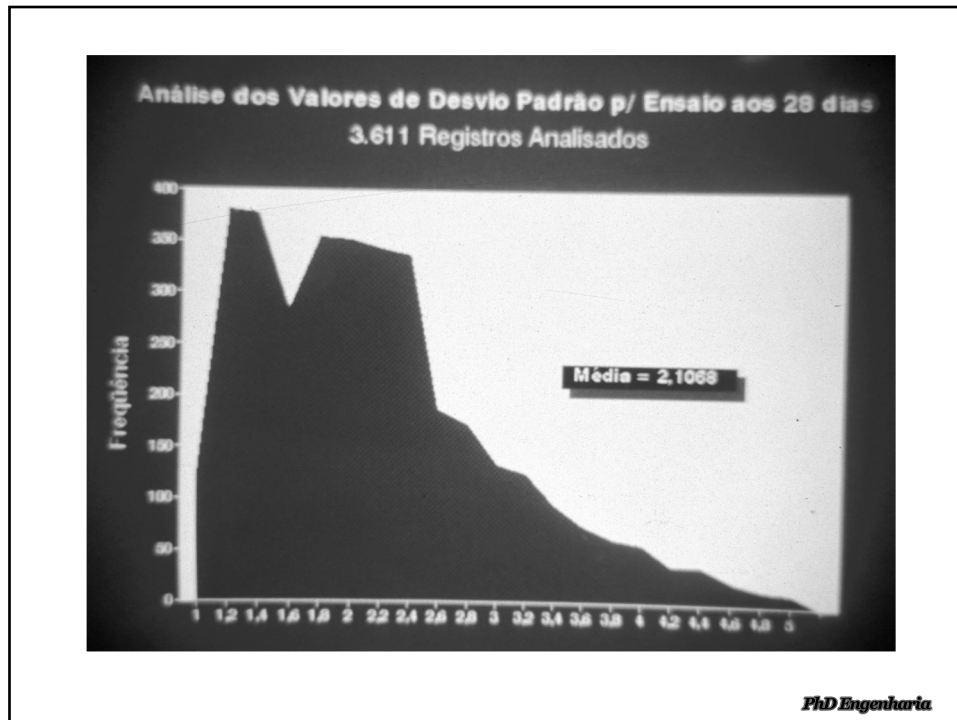
PhD Engenharia

28



PhD Engenharia

29



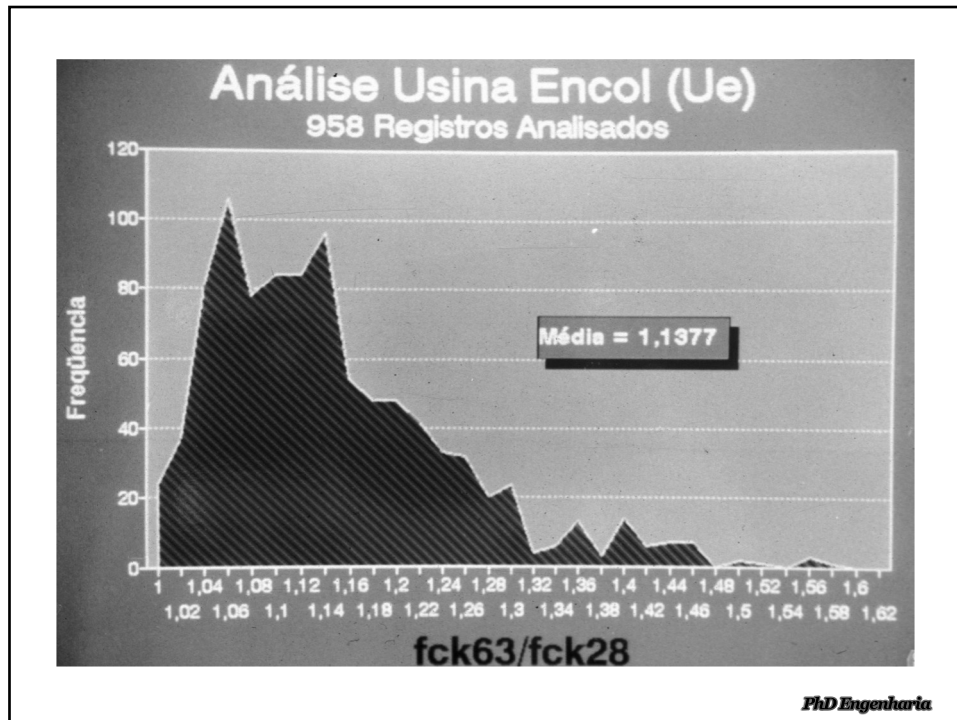
30

## RESTRIÇÕES à dosagem

|                      |  |
|----------------------|--|
| <b>NBR 6118/1978</b> | <b>NBR 12655/1992</b>                  |
| <b>ECA 1988</b>      | <b>a volume</b>                        |
| <b>nada</b>          | <b><math>f_{ck} \leq 20</math> MPa</b> |

PhD Engenharia

31



32

**para  $v_c=13\%$   $f_{ck,est}$  será:**

**$0,8 * f_{cm} \rightarrow 22,4 \text{ MPa}$**

**$0,78 * f_{cm} \rightarrow 21,8 \text{ MPa}$**   
 **$\therefore \text{ para } f_{cm} \rightarrow 28 \text{ MPa}$**

**$0,77 * f_{cm} \rightarrow 21,5 \text{ MPa}$**

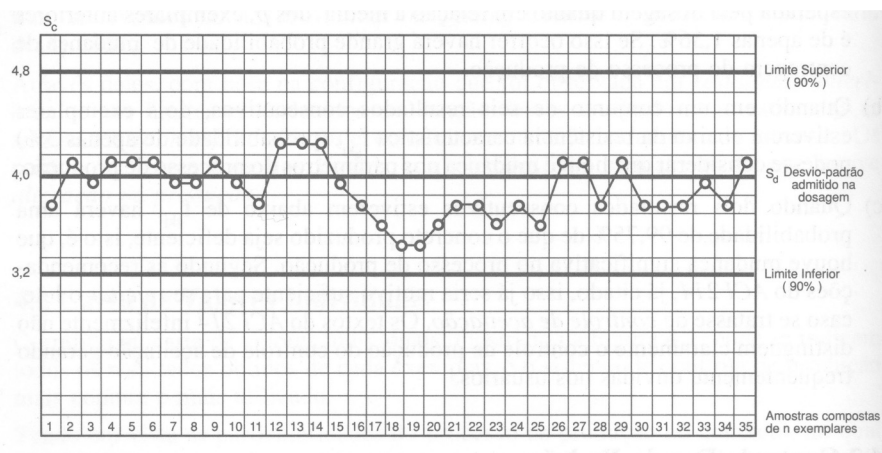
*PhD Engenharia*

33

| Procedência do concreto | Registros Analisados | Média do Desvio Padrão |
|-------------------------|----------------------|------------------------|
| Usina Terceiros         | 1,773                | 2,1461                 |
| Usina Encol             | 1,206                | 2,2427                 |
| Obra                    | 1,388                | 2,1551                 |

**PhD Engenharia**

34



*Carta de controle de qualidade com base no desvio-padrão do processo de produção e ensaio (S<sub>d</sub>)*

**PhD Engenharia**

35

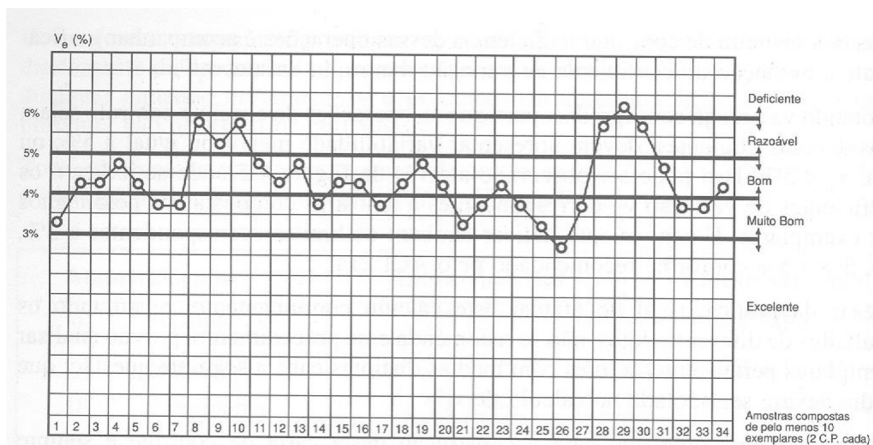
**...no projeto estrutural:**  
 $f_{ck,est} \geq 24$  MPa para 63 dias

**..na dosagem em obra/lab:**  
 $f_{c28} = 21 + 1,65 * S_d$

**.na encomenda do concreto:**  
 $f_{ck} = 21$  MPa para 28 dias

**PhD Engenharia**

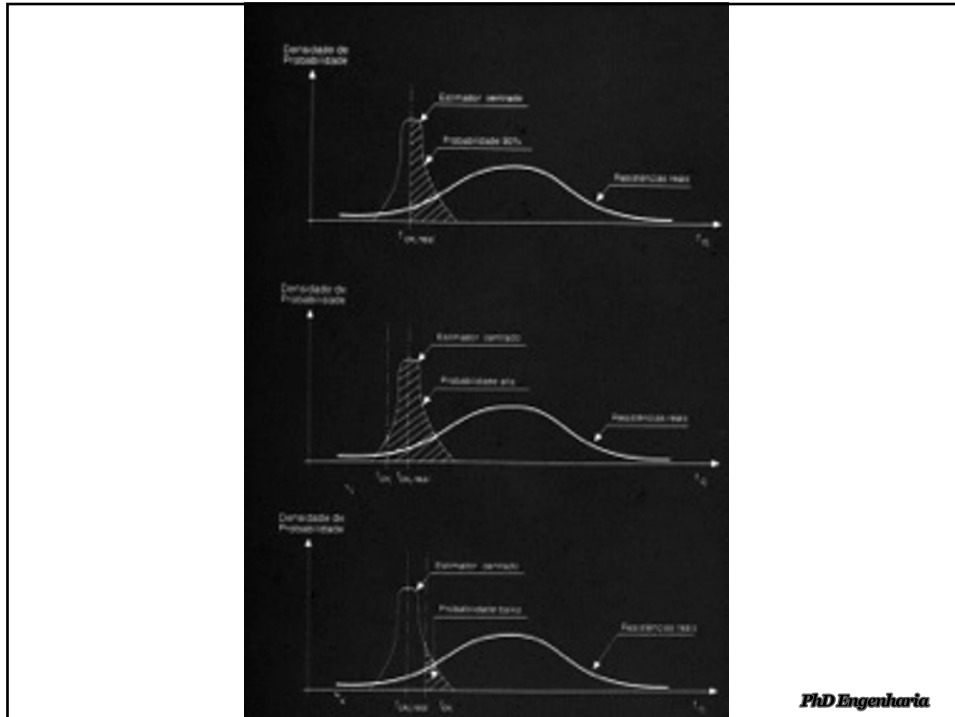
36



Carta de controle de qualidade com base no coeficiente de variação devido às operações de ensaio e controle ( $v_e$ )

**PhD Engenharia**

37



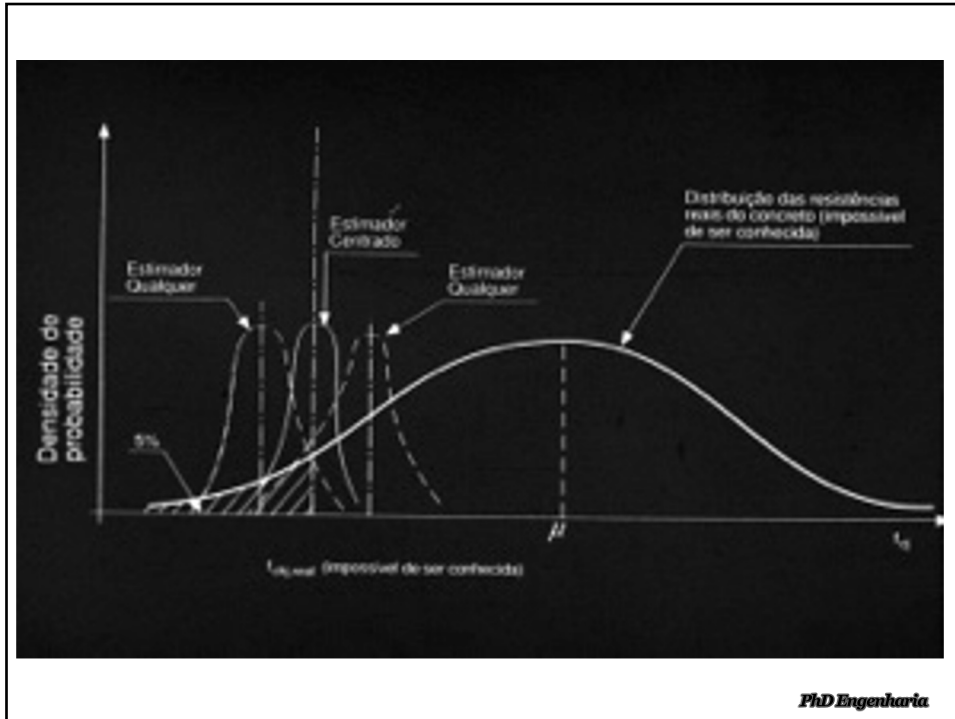
38

## HISTÓRICO

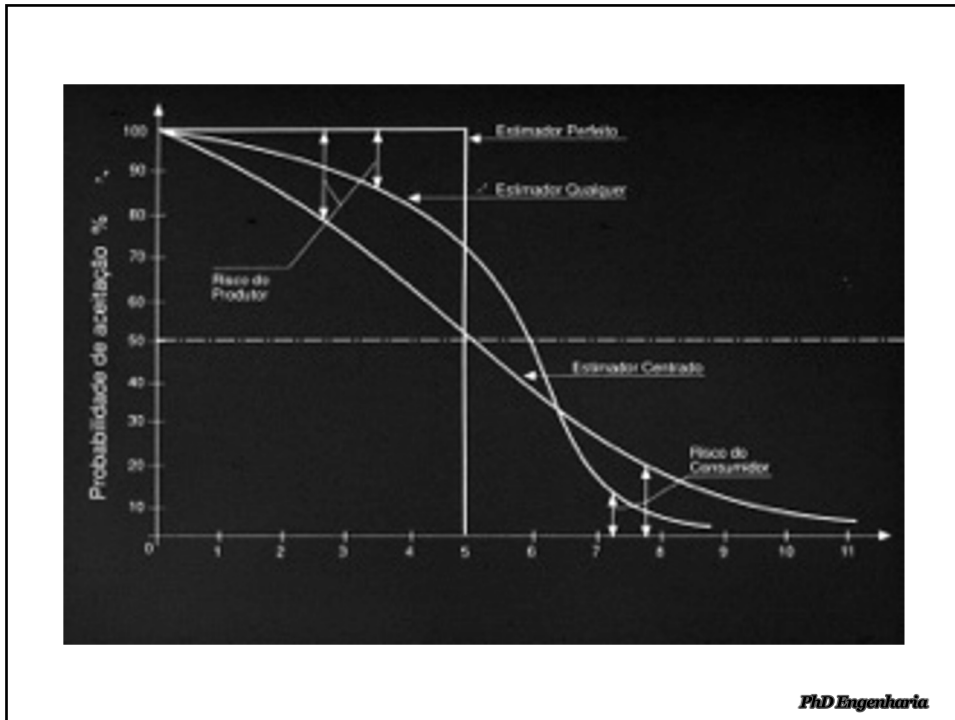
- 1933 ASTM Manual on Presentation of Data
- 1936 Paulo de Sá INT madeira
- 1939 Alberto P. Oliveira INT concreto 600 c.p.
- 1944 Lobo Carneiro INT  $f_{ck}$  p/ 2,5%
- 1954/1960 URSS, D, UK, USA valor carac.
- 1956 Ary Torres/ C. Rosman IPT dosagem carac.
- 1958 Texto da revisão da NB-1/50  $f_{ck}$  p/ 2,5%
- 1960 NB-1  $f_{ck}$  p/ 5% ( $\sigma_R$ )

PhD Engenharia

39

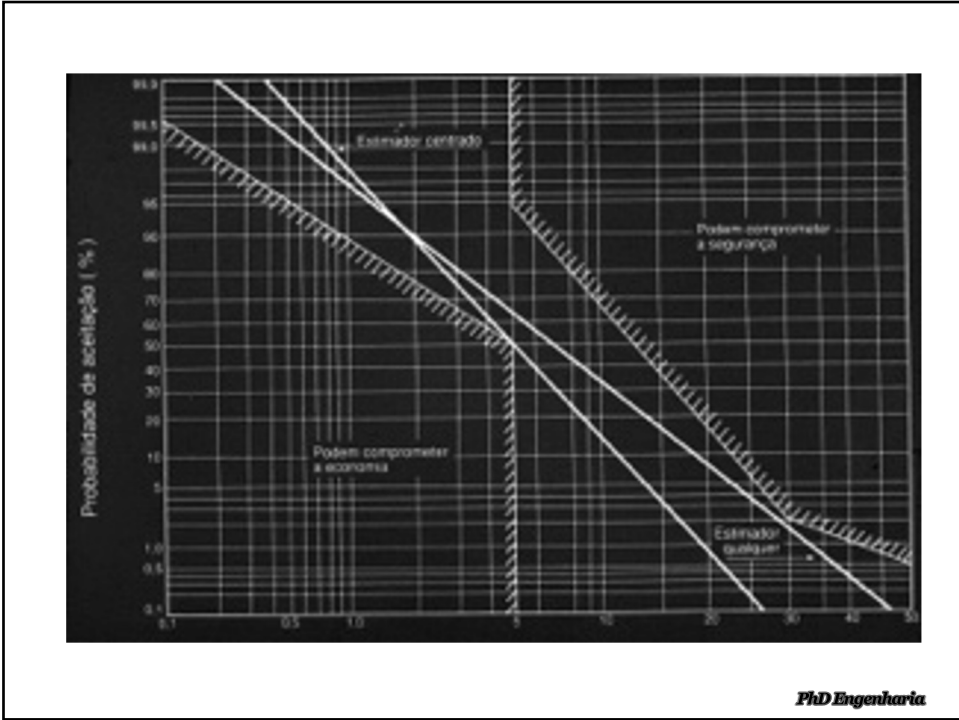


40



41





**PhD Engenharia**

42

### Ensaio aos 28 dias

| Procedência do Concreto | Registros Analisados | Média do Desvio Padrão |
|-------------------------|----------------------|------------------------|
| Usina Terceiros         | 1.773                | 2,1461                 |
| Usina Encol             | 1.206                | 2,2427                 |
| Obra                    | 1.388                | 2,1551                 |

**PhD Engenharia**

43

## Ensaio aos 28 dias

| Procedência do Concreto | Registros Analisados | Média do Desvio Padrão |
|-------------------------|----------------------|------------------------|
| Usina Terceiros         | 1.773                | 2,1461                 |
| Usina Encol             | 1.206                | 2,2427                 |
| Obra                    | 1.388                | 2,1551                 |

*PhD Engenharia*

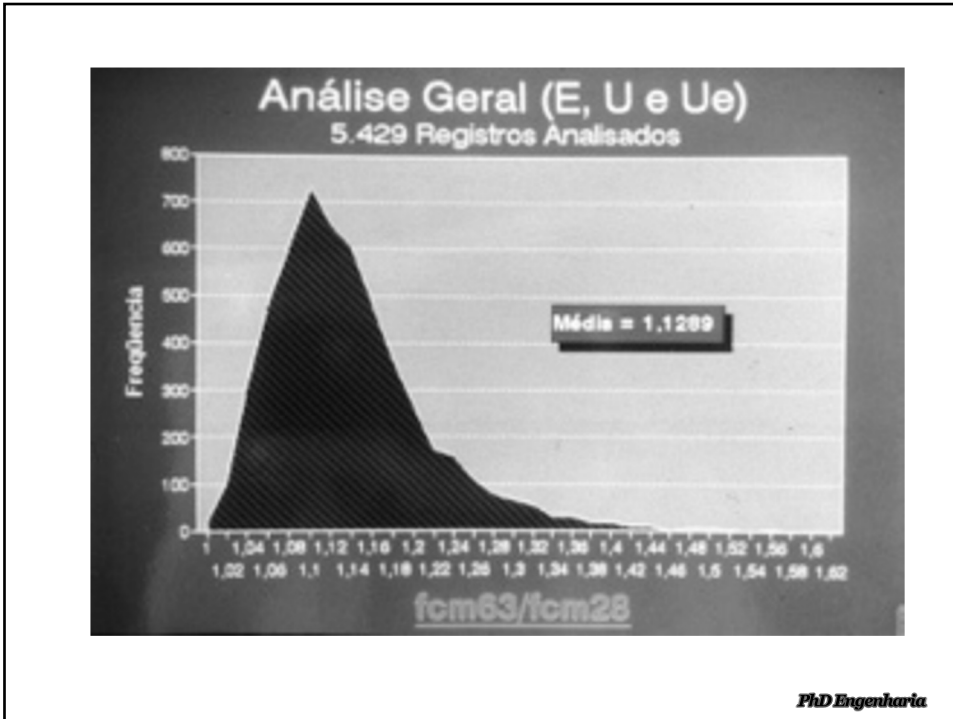
44

## Ensaio aos 63 dias

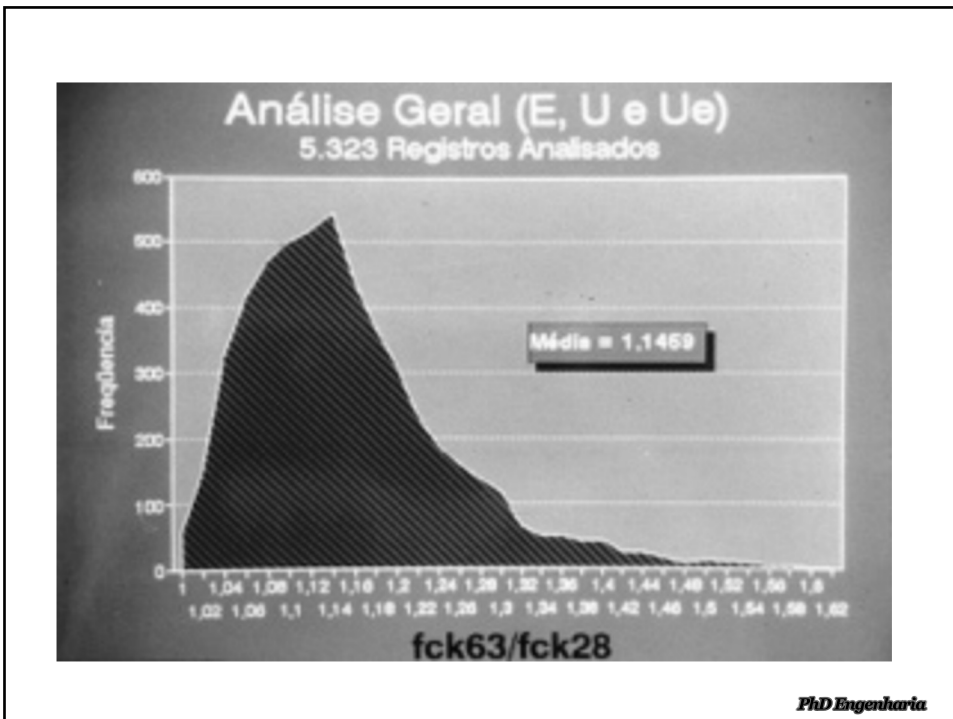
| Procedência do Concreto | Registros Analisados | Média do Desvio Padrão |
|-------------------------|----------------------|------------------------|
| Usina Terceiros         | 1.737                | 2,0000                 |
| Usina Encol             | 1.180                | 1,6236                 |
| Obra                    | 1.383                | 2,0502                 |

*PhD Engenharia*

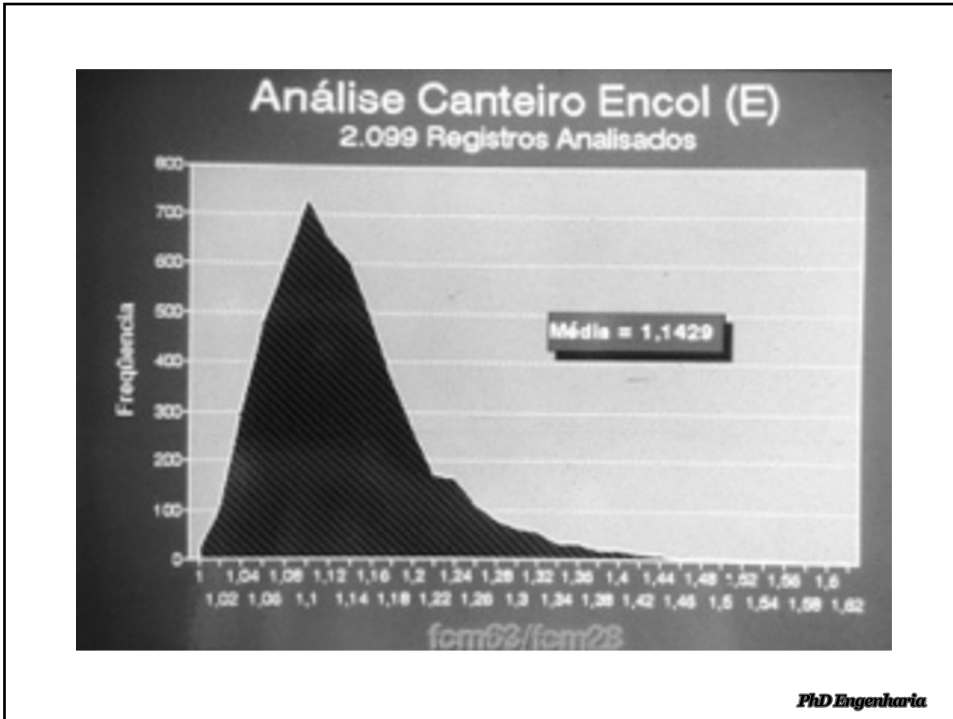
45



46



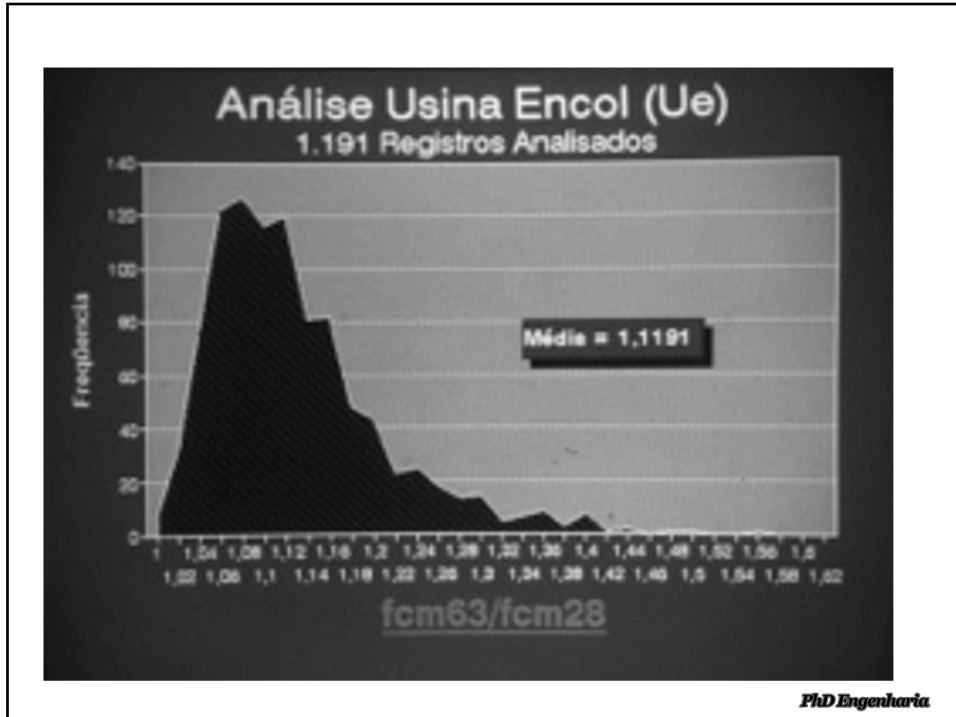
47



48



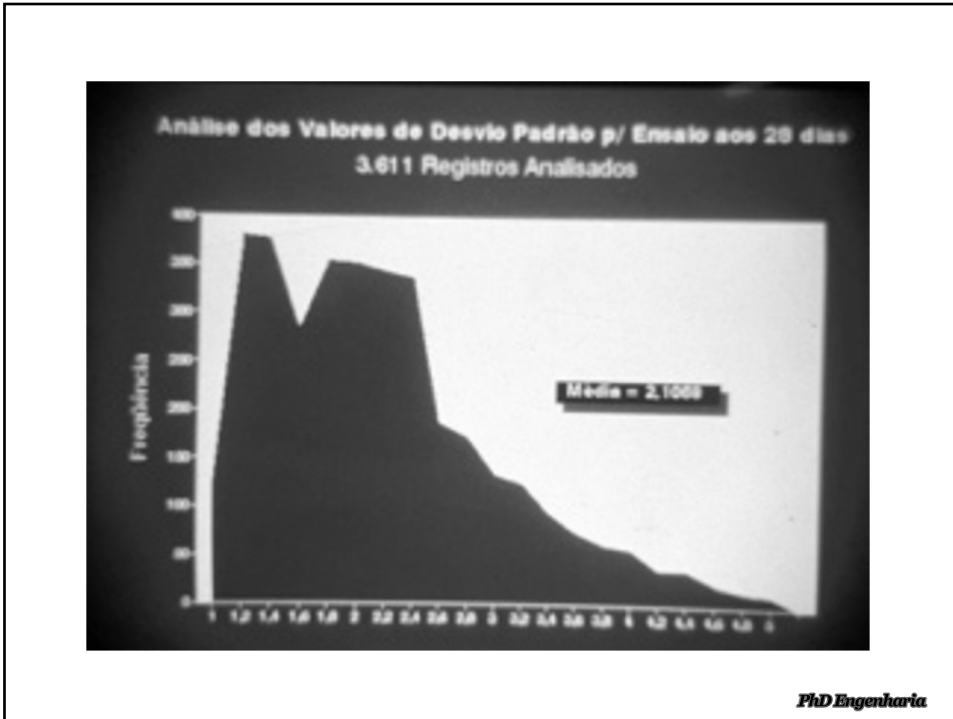
49



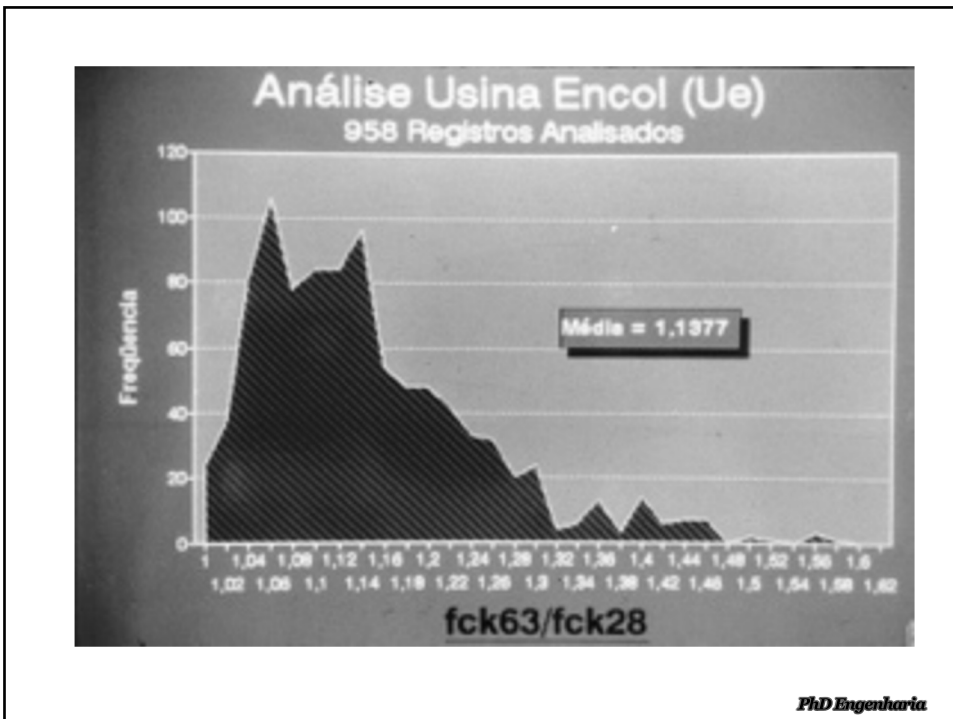
50



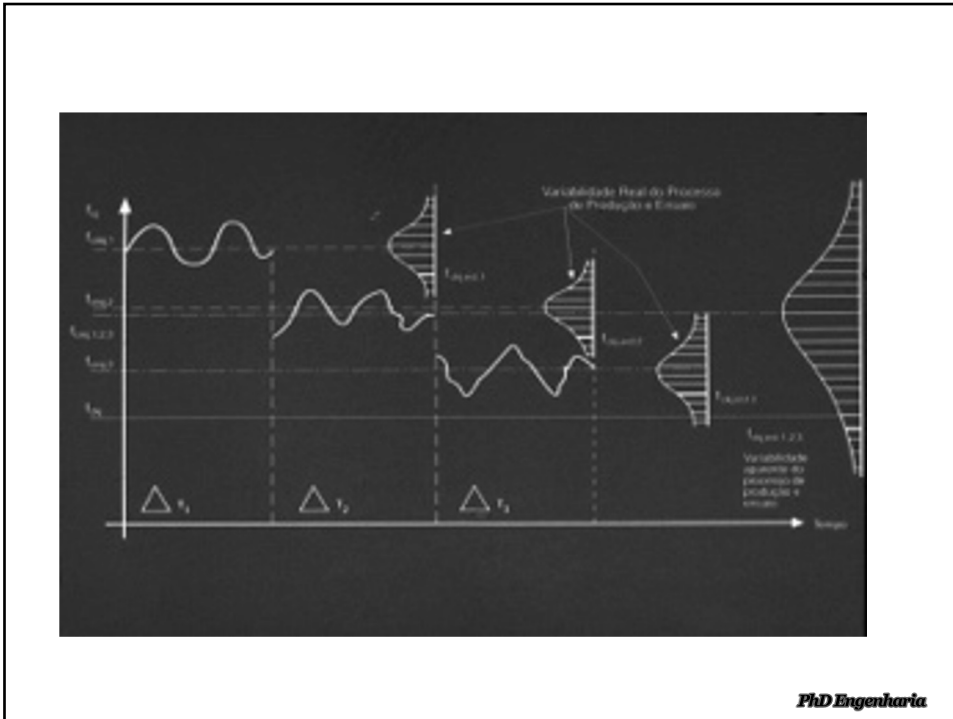
51



52



53



54

## DOSAGEM

(Desvio Padrão  $S_c$ )

|   |  |
|---|--|
| <p>NBR 6118/2007</p> $S_c = k_n * S_n$ <p>1,25 a 1,04</p> | <p>ECA 1988</p> <p>NBR 12655/2006</p> $S_c = S_n$ <p><math>p/ n \geq 20</math></p> |
|---|--|

**PhD Engenharia**

55

## DOSAGEM

(Desvio Padrão  $S_c$ )

NBR 6118/2007  
NBR 12655/2006

≥ 4,0 MPa

≥ 5,5 MPa

≥ 7,0 MPa

ECA 1988

≥ 3,0 MPa

≥ 4,0 MPa

≥ 5,5 MPa

*PhD Engenharia*

56

## DOSAGEM DO CONCRETO

$$f_{cm} = f ( f_{ccm}, a/c, \Delta e )$$

$$s_c^2 = \frac{k_1 \cdot v_{cc}^2}{k_2^{2 \cdot a/c}} + \frac{k_1 \cdot \ln^2 k_2 \cdot s_{a/c}^2}{k_2^{2 \cdot a/c}} + s_e^2$$

| Relação<br>a/c | $f_{c28\text{dias}}$ | $S_c$          |                 |
|----------------|----------------------|----------------|-----------------|
|                |                      | $v_{cc} = 5\%$ | $v_{cc} = 10\%$ |
| 0,38           | 50 MPa               | 4,46           | 5,34            |
| 0,78           | 20 MPa               | 3,38           | 3,70            |

*PhD Engenharia*

57



## Procedimento de ensaio normalização

NBR 5738 → Moldagem e cura  
NBR 5739 → Compressão Axial  
NBR NM 67 → Consistência  
NBR 5750 → Amostragem – betoneira estacionária  
NBR 7212 → Execução de concreto dosado em central  
NBR 12654 → Controle dos materiais para concreto  
NBR 12655 → Preparo, controle e recebimento de concreto

*PhD Engenharia*

58

## média ou o maior?

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

$$v_e = 3,0\%$$

$$1 \rightarrow 22,3 \text{ MPa}$$

$$2 \rightarrow 22,4 \text{ MPa}$$

$$v_e = 7,0\%$$

$$1 \rightarrow 21,6 \text{ MPa}$$

$$2 \rightarrow 22,0 \text{ MPa}$$

*PhD Engenharia*

59

## *Qualidade das estruturas de concreto*

A NBR 6118 (2003) diz no seu item 5.2 –  
Requisitos de Qualidade de Projeto:

- A solução estrutural adotada deve atender aos requisitos de qualidade estabelecidos nas normas técnicas, relativos à capacidade resistente, ao desempenho em serviço e à durabilidade da estrutura;
- A qualidade da solução adotada deve ainda considerar as condições arquitetônicas, funcionais, construtivas, estruturais, de integração com os demais projetos (elétricos, hidráulicos, e outros) explicitadas pelos responsáveis técnicos de cada especialidade com a anuência do contratante.

60

## *Qualidade das estruturas de concreto*

- 1 – Prever drenagem eficiente;
- 2 – Evitar formas arquitetônicas e estruturais inexequíveis;
- 3 – Garantir concretos com qualidade apropriada, particularmente nas regiões superficiais dos elementos estruturais;
- 4 – Garantir cobrimento de concreto apropriado para proteção às armaduras;
- 5 – Detalhar adequadamente as armaduras;
- 6 – Controlar a fissuração das peças;
- 7 – Prever espessuras de revestimento protetoras em regiões sob condições de exposição ambiental muito agressiva.

61

## Qualidade do concreto estrutural

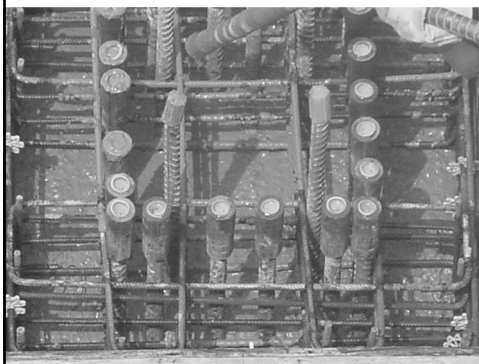


**... e em especial as etapas de mistura, transporte, lançamento, adensamento, cura e desfôrma ...**



62

## Qualidade do concreto estrutural



**... ou seja, é determinante o controle da execução da estrutura**

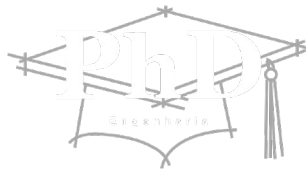
*Mas, o controle da qualidade do concreto é muitas vezes confundido com o controle da resistência à compressão do concreto... possivelmente pela importância desta propriedade na segurança do projeto e da obra em execução.*



*PhD Engenharia*

63

# OBRIGADO!



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

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

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

***PhD Engenharia***