

## CONTROLE ESTATÍSTICO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

### RESUMO

*O controle da resistência à compressão do concreto, feito por meio de procedimentos estatísticos, é de importância fundamental para a aceitação ou rejeição dos resultados obtidos. Este trabalho visa expor os novos critérios de avaliação, estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da NBR-6118 e NBR-12655. O aspecto prático baseou-se no controle de qualidade das obras de arte especiais do alargamento da BR-116, trecho Messejana – Itaitinga, executadas pelo DNER e supervisionadas pela firma de consultoria CORSENGE.*

### ABSTRACT

*The control of the resistance the compression of the concrete, done through statistical procedures, it is of fundamental importance for the acceptance or rejection of the obtained results. This work seeks to expose the evaluation new criteria , established by the Brazilian Association of Technical Norms, through NBR-6118 and NBR-12655. The practical aspect based on the quality control of the special works of art of the enlargement of BR-116, segment Messejana - Itaitinga, executed by DNER and supervised by the consultant CORSENGE.*

### 1. INTRODUÇÃO

Sempre que se pretende controlar a qualidade de um determinado produto, é essencial que se estabeleçam quais as características que irão definir a qualidade e ainda quais os valores que devem assumir essas características.

O controle da resistência à compressão constitui um parâmetro da maior relevância para a garantia da segurança e durabilidade das estruturas de concreto.

Embora a qualidade do concreto não seja identificada

**Francisco Carvalho de  
Cerqueira**

---

*Engenheiro Civil  
Professor do Centro de  
Ciências Tecnológicas da  
Universidade de Fortaleza  
– UNIFOR*

somente pela sua resistência à compressão axial, este parâmetro é de importância fundamental na avaliação da qualidade do concreto como produto final. Por esta razão este trabalho se direciona para o estudo da resistência à compressão.

No controle de um produto existem casos particulares onde se pode realizar um controle absoluto de determinada característica. É o caso, por exemplo, de se querer aceitar sacos de cimento que pesem  $50 \text{ Kg} \pm 1 \text{ Kg}$ . Basta que se pese todos os sacos de uma partida chegada a obra para se ter o controle absoluto.

Há casos, porém, em que o controle absoluto é impossível. Se fixarmos que só seriam aceitos tubos de concreto com resistência à compressão diametral superior a 10t, teríamos que romper todos os tubos para se obter um controle deste tipo.

Não se deve, porém, em caso algum, deixar de realizar o controle de qualidade. Para tornar possível a solução deste problema, lança-se mão do controle estatístico de qualidade. Como o controle estatístico não é absoluto, nunca poderemos dizer, por exemplo, que 5%

do universo do produto encontra-se fora de especificação, mas sim, que existe a probabilidade de termos 5% do universo do produto fora de especificação.

## 2. RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA

A resistência do concreto de uma estrutura ou peças desta estrutura, não possui um único valor. Admite-se como sendo formada de um "universo" constituído de um número infinito de valores. Através da experiência tem-se observado que a produção de concreto sob condições uniformes apresenta uma distribuição normal (distribuição de Gauss), podendo ser representada por dois parâmetros que são a média e o desvio padrão. Os processos modernos reduziram estes dois parâmetros de distribuição por um único valor característico da resistência, representado pela notação  $f_{ck}$ . Considera-se  $f_{ck}$  como sendo o valor da resistência, abaixo do qual só haja probabilidade de existir 5% de valores inferiores a ele (figura 1).

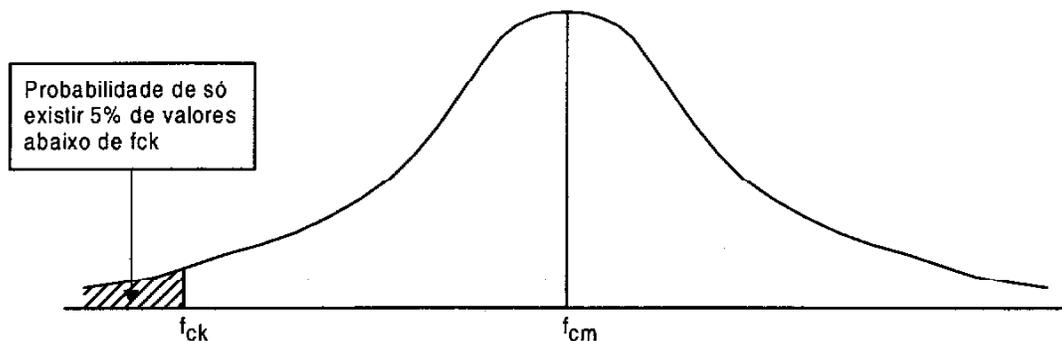


Figura 1 - Distribuição de Gauss

A variação e falta de homogeneidade dos materiais e processos de produção do concreto são os principais fatores responsáveis pela não uniformidade da sua resistência à compressão e demais propriedades.

O desvio padrão "s" é obtido pela expressão:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n - 1}}$$

Onde:

- $f_{cm}$  = Resistência média à compressão dos corpos de prova na idade considerada.
- $f_{ci}$  = Valor unitário da resistência à compressão de cada corpo de prova.
- $i$  = Índice do valor unitário correspondente.
- $n$  = Número de corpos de prova.
- $s$  = Desvio padrão da amostra.

Na distribuição de Gauss, a área compreendida entre dois valores  $f_{c1}$  e  $f_{c2}$  define a probabilidade de ocorrerem valores compreendidos entre estes dois limites (figura 2).

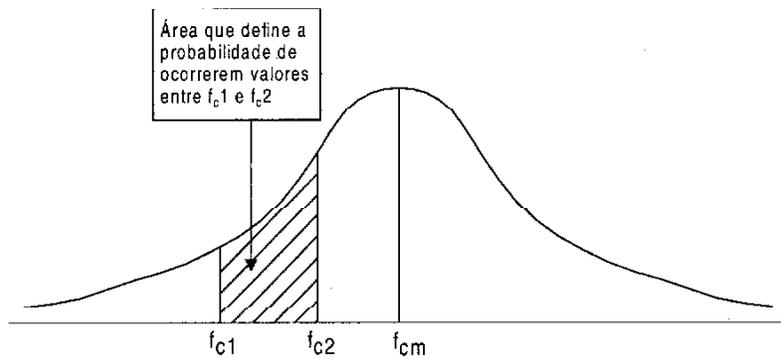


Figura 2

Partindo desse conceito, pode-se concluir :a) A área à esquerda ou à direita da

média  $f_{cm}$  apresenta a probabilidade de 50% dos valores se situarem abaixo ou acima dela (figura 3).

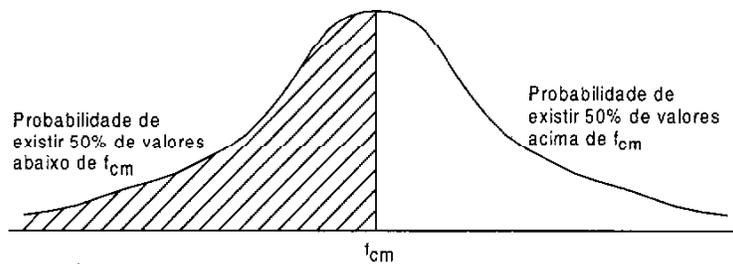


Figura 3

b) Uma tensão qualquer  $f_c < f_{cm}$  corresponde a uma probabilidade de existir P% de valores abaixo. A diferença entre  $f_{cm}$  e  $f_c$  é igual ao produto  $s.t$ , em que "s" é o desvio padrão e "t" um coeficiente que depende

da probabilidade de P% (figura 4). Temos portanto que  $f_{cm} - f_c = s.t$  ou que  $f_c = f_{cm} - s.t$ . Existem tabelas que dão os valores de t em função de P%. Vejamos alguns destes valores na tabela 1, dada a seguir:

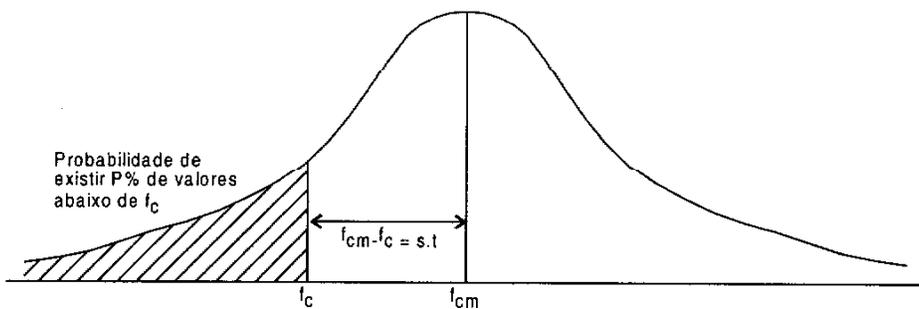


Figura 4

|    |       |       |       |       |       |       |     |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| P% | 25    | 20    | 15    | 10    | 5     | 1     | 0,1 |
| t  | 0,674 | 0,842 | 1,036 | 1,282 | 1,645 | 2,326 | 3,1 |

Tabela 1

A resistência característica pode ser determinada tomando-se o valor de  $t = 1,645$  correspondente a probabilidade  $P = 5\%$ , onde aplicando a fórmula de cálculo de  $f_c$ , obtém-se a expressão :

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,645.s$$

### 3. CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO DA ESTRUTURA

O controle de aceitação de uma estrutura vinha sendo realizado após o conhecimento de pelo menos 32 resultados, pela verificação da resistência mínima efetiva ( $f_{ck,ef}$ ) determinada por:

$$f_{ck,ef} = f_{cm} - 1,65.s$$

A estrutura era aceita quando satisfazia à condição:

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

Porém, o controle de aceitação feito desse modo corre diversos riscos, tais como o de recusar estruturas com o concreto adequado, mas que apresentou variações em suas médias durante a produção ou, recusar toda a estrutura de uma obra, o que é injustificável, pois pode ocorrer que apenas uma de suas peças seja defeituosa. Além do mais, um controle feito de uma maneira global não define bem os locais da estrutura que possam apresentar um concreto deficiente e que necessite de estudos mais aprofundados.

Tendo o objetivo de separar numa estrutura, as zonas problemáticas do restante das outras peças de boa qualidade, a ABNT NBR-12655 determinou que o controle de aceitação será feito, dividindo-se a estrutura em pequenos trechos, designados por lote. Cada lote corresponderá a um elemento estrutural, limitado pelos critérios existentes na tabela 2 apresentada a seguir, constante da Norma do DNER ES-330/97 baseada na NBR-12655.

| Limites superiores   | Solicitação principal dos elementos da estrutura |                   |
|----------------------|--|-------------------|
|                      | Compressão ou Compressão e Flexão                | Flexão Simples    |
| Volume de concreto   | 50m <sup>3</sup>                                 | 100m <sup>3</sup> |
| Tempo de Concretagem | 3 dias de concretagem (1)                        |                   |

(1) Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de sete dias, incluir eventuais interrupções para tratamento de juntas.

Tabela 2

De cada lote deve-se retirar uma amostra de, no mínimo seis exemplares, para os concretos até a classe C50 (resistência  $f_{ck}$  até 50 MPa) e doze exemplares para as classes superiores a C50.

Cada exemplar é constituído por dois corpos de prova da mesma betonada, para cada idade de rompimento, moldados no mesmo ato. A resistência do exemplar de cada idade é considerada aquela de maior valor obtido no ensaio.

A NBR-12655 especifica ainda dois tipos de controle da resistência do concreto: O controle estatístico por amostragem parcial e o

controle por amostragem total. Para cada um destes tipos de controle, aplicam-se formas de cálculos diferentes para determinar o valor estimado da resistência característica de cada lote, designada por  $f_{ck,est}$ .

No controle por amostragem parcial, são retirados exemplares de algumas betonadas de concreto, respeitado o número mínimo de exemplares previstos nas normas.

O cálculo do valor estimado da resistência característica ( $f_{ck,est}$ ) depende do número "n" de exemplares :

a) Para  $6 \leq n < 20$ ,  $f_{ck,est}$  será determinado pela fórmula:

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

Onde:

- $m = n / 2$ . Despreza-se o valor mais alto de "n" se for ímpar.

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

Segundo as normas não se deve tomar para  $f_{ck, est}$ , valor menor que  $\Psi_6 f_1$ . O valor de  $\Psi_6$  é dado em função das condições de preparo do concreto e do número de exemplares da amostra, conforme consta da tabela 3, apresentada a seguir:

| Condições de Preparo | Número de exemplares |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      | 2                    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 10   | 12   | 14   | >16  |
| A                    | 0,82                 | 0,86 | 0,89 | 0,91 | 0,92 | 0,94 | 0,95 | 0,97 | 0,99 | 1,00 | 1,02 |
| B ou C               | 0,75                 | 0,80 | 0,84 | 0,87 | 0,89 | 0,91 | 0,93 | 0,96 | 0,98 | 1,00 | 1,02 |

Tabela 3 - Valores de  $\Psi_6$

As condições de preparo do concreto: A, B e C são definidas na tabela 4, dada a seguir:

| Condições | Classe de resistência | Formas de medidas dos componentes |                                    |                                |
|-----------|-----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
|           |                       | Cimento                           | Água                               | Agregados                      |
| C         | C10 a C15             | Massa                             | Volume (1)                         | Volume                         |
| B         | C10 a C20             | Massa                             | Volume com dispositivo Dosador (1) | Volume (2)                     |
|           | C10 a C25             | Massa                             | Volume com dispositivo Dosador (1) | Massa Combinada com Volume (3) |
| A         | C10 a C80             | Massa                             | Massa                              | Massa                          |

Tabela 4

(1) Corrigido pela determinação da umidade dos agregados.

(2) Volume do agregado miúdo corrigido através da curva de inchamento e umidade.

(3) Medir a umidade da areia no canteiro de obras, em balança aferida, para permitir a rápida conversão de massa para volume de agregados.

- b) Para lotes com  $n \geq 20$ ,  $f_{ck, est}$  será dado por :

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

Onde:

- $f_{cm}$  = resistência média dos exemplares do lote .
- $S_d$  = desvio padrão do lote .

O controle por amostragem total, consiste no ensaio de exemplares tirados de cada amassada de concreto. Aplica-se a casos especiais, a critério do responsável técnico pela

obra. Neste caso, não há limitação para o número de exemplares do lote. O valor de  $f_{ck, est}$  é dado por :

- a) Para  $n \leq 20$

$$f_{ck, est} = f_1$$

- b) para  $n > 20$

$$f_{ck, est} = f_i$$

Onde  $i = 0,05n$ , adotando-se o número inteiro imediatamente superior, para valor de "i" fracionário.

Para lotes com volumes de no máximo até 10 m<sup>3</sup>, sendo o número de exemplares compreendidos entre 2 e 5, o valor de  $f_{ck, est}$  é dado por :

$$f_{ck, est} = \psi_6 f_1$$

Para quaisquer dos casos abordados, os lotes de concreto devem ser aceitos quando satisfizerem à condição :

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

#### 4. EXEMPLO PRÁTICO

Finalizando este trabalho, apresentaremos como ilustração um exemplo de controle de resistência à compressão, tirado dos serviços de supervisão realizados pela firma de consultoria CORSENGE, no acompanhamento das Obras de Arte Especiais do alargamento da BR-116/CE, trecho Fortaleza – Pacajus. É constituído dos ensaios de controle de resistência do concreto, correspondente à

construção de duas vigas (lote 4) do viaduto de interseção do Anel Rodoviário de Fortaleza com a BR- 116.

Os ensaios deste lote foram realizados através de uma **amostragem parcial**. A resistência característica do concreto foi especificada em 30Mpa (resistência dada em megapascal, equivale a 300kgf/cm<sup>2</sup>). O tamanho da amostra deste lote foi definido em doze exemplares (emprega-se também o termo “série”, para designar cada par de corpos de prova). Rompidos os corpos de prova, obteve-se os resultados constantes do Quadro de Controle (coluna 4) e do Gráfico de Controle, dados em anexo. Atendendo às normas, selecionou-se o maior valor de cada par, conforme consta da coluna 5 desse Quadro. O passo seguinte consistiu em colocar os 12 resultados de cada série na ordem crescente (coluna 6).

O cálculo de  $f_{ck, est}$  para uma amostragem parcial com  $n = 12$ , tomando  $m = n/2 = 12/2 = 6$  e tirando da coluna 6 os valores de  $f_1$  a  $f_6$ , temos:

$$f_{ck, est} = 2 \frac{33,8 + 34,5 + 35,4 + 35,7 + 35,7}{5} - 35,7 = 34,34$$

|   |                                  |                         |
|---|----------------------------------|-------------------------|
| Lote No 4                                       | Traço<br>1 : 1,73 : 2,11 : 0,44  | Fck Projetado<br>30 Mpa |
| Volume Concretado: 42 m3                        |                                  |                         |
| Amostra Parcial                                 | Obra: Viaduto do Anel Rodoviário |                         |
| Elemento Concretado: Vigas V4 e V5 do Vão Oeste |                                  |                         |

| COLUNAS      |            |              |                    |             |                 |
|--------------|------------|--------------|--------------------|-------------|-----------------|
| 1            | 2          | 3            | 4                  | 5           | 6               |
| Moldagem     |            | Idade (dias) | Fc do ensaio (Mpa) |             |                 |
| Série        | Data       |              | Resultado Geral    | Maior Valor | Ordem Crescente |
| 1-A<br>1-B   | 25/09/1998 | 28           | 37,6<br>33,2       | 37,6        | 33,8            |
| 2-A<br>2-B   | 25/09/1998 | 28           | 31,4<br>34,5       | 34,5        | 34,5            |
| 3-A<br>3-B   | 25/09/1998 | 28           | 34,6<br>36,4       | 36,4        | 35,4            |
| 4-A<br>4-B   | 25/09/1998 | 28           | 31,6<br>33,8       | 33,8        | 35,7            |
| 5-A<br>5-B   | 25/09/1998 | 28           | 35,7<br>33,1       | 35,7        | 35,7            |
| 6-A<br>6-B   | 25/09/1998 | 28           | 35,4<br>33,6       | 35,4        | 25,7            |
| 7-A<br>7-B   | 28/09/1998 | 28           | 37,4<br>37,9       | 37,9        | 36,4            |
| 8-A<br>8-B   | 28/09/1998 | 28           | 35,7<br>35,4       | 35,7        | 36,5            |
| 9-A<br>9-B   | 28/09/1998 | 28           | 38,4<br>35,9       | 38,4        | 37,6            |
| 10-A<br>10-B | 28/09/1998 | 28           | 35,7<br>34,5       | 35,7        | 37,9            |
| 11-A<br>11-B | 28/09/1998 | 28           | 33,9<br>36,5       | 36,5        | 38,4            |
| 12-A<br>12-B | 28/09/1998 | 28           | 36,2<br>38,6       | 38,6        | 38,6            |

|    |          |                    |               |
|----|----------|--------------------|---------------|
| n  | $\Psi_6$ | $\Psi_6 \cdot f_1$ | Fck,est (Mpa) |
| 12 | 0,99     | 33,46              | 34,34         |

#### Quadro de Controle da Resistência à Compressão

O valor de  $f_{ck,est}$  não pode ser inferior a  $\Psi_6 \cdot f_1$ . O valor de  $\Psi_6$  é tirado da tabela 3, entrando-se com  $n = 12$  e a condição de preparo "A" (o concreto especificado é de classe C30, atendendo a condição "A" da tabela 4).

Temos:  $\Psi_6 = 0,99$ .

Segue:  $\Psi_6 \cdot f_1 = 0,99 \times 33,8 = 33,46$  Mpa.

Como  $f_{ck,est} > 33,46$ , o valor de  $f_{ck,est} = 34,34$  será mantido.

Concluimos que o lote satisfaz a condição de aceitação, pois  $f_{ck,est} > f_{ck}$ .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PRUDÊNCIO, José Walmor; SILVA NETO, Marcelo; COSTA, Tibiriçá Gaspar da. **Controle de Qualidade do Concreto** (Programa Emergencial Para Capacitação de Pessoal do DNER) – SET Consultoria Ltda. RJ, 1996.

MATTOS, Aloysio Bello Gomes de. Apostila – **Controle Estatístico de Qualidade**. COPAVEL – 1978

HELENE, Paulo R.L. – **Controle de Qualidade do Concreto**. Escola Politécnica da USP – Boletim Técnico – 1986

**ABCP. Controle Estatístico de Concreto** – American Concrete Institute, tradução de Eduardo Santos Basílio. SP – 1984

EQUIPE DE FURNAS, Laboratório de Concreto. **CONCRETOS – Ensaios e Propriedades**. Editora Pine Ltda. SP – 1997.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - Especificações de Obras de Arte Especiais. Norma DNER-ES-330/97.

Associação Brasileira de Normas Técnica, NBR-6118 e NBR-12655.