

Segurança das Estruturas.

Controle de Aceitação da Resistência à Compressão do Concreto.

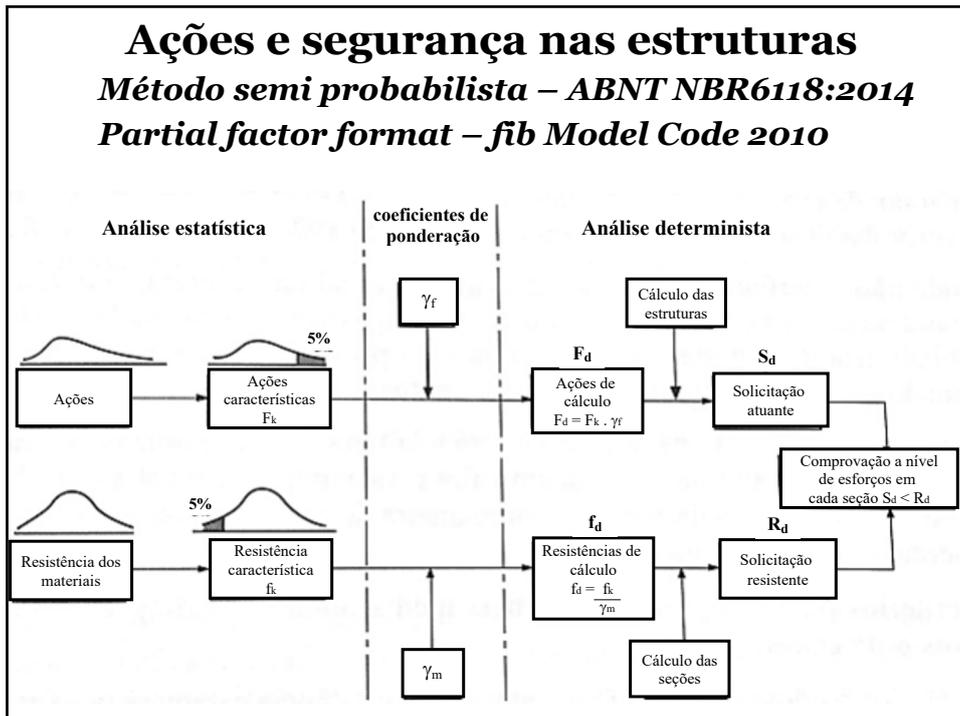
Comparativo normas ABNT, ACI e EN

"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

Paulo Helene
 Diretor PhD Engenharia
 Conselho Permanente IBRACON
 Prof. Titular Universidade de São Paulo
 Gestor e Ex-Presidente ALCONPAT Internacional
 Diretor Técnico do Instituto Brasileiro do Concreto
 Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design
 Conselheiro da CNTU e SEESP

IE. Instituto de Engenharia
19 de setembro de 2019
São Paulo/SP

1

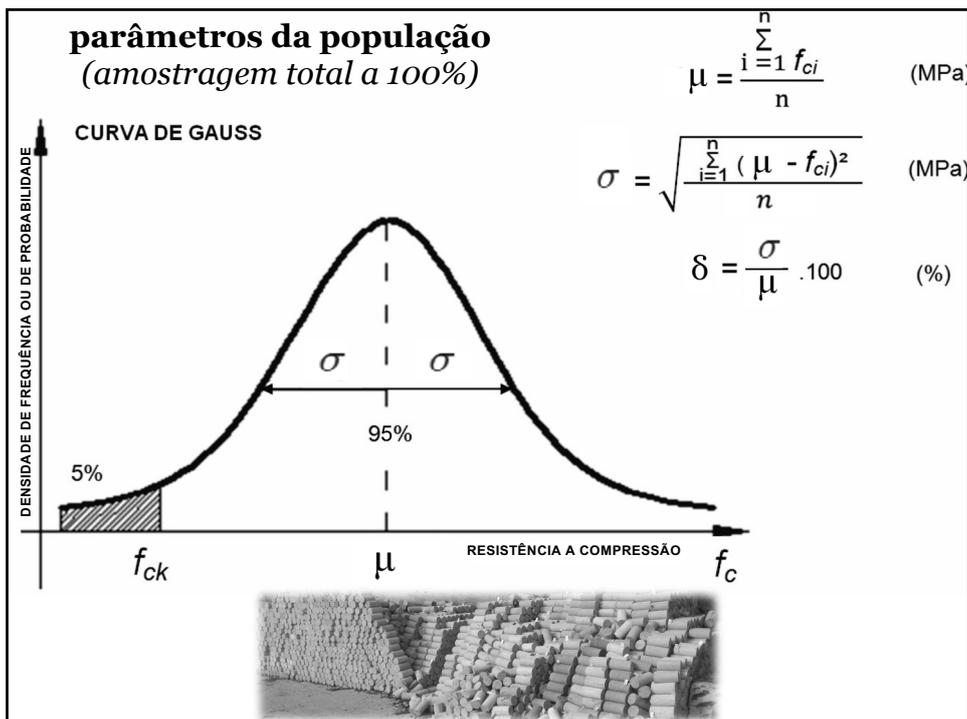


2

o que é a resistência característica do concreto à compressão, f_{ck} ?



3



4

qual é o referencial de resistência à compressão do concreto, f_{ck} no Brasil ?

5

Controle de aceitação de um produto acabado:
torneira, fechadura, porta, pneu e aço!

Controle de recebimento e aceitação de um
produto em elaboração:
concreto!

- preço 1 litro concreto (posto obra) = R\$ 0,35
- preço 1 kg concreto C30 (posto obra) = R\$ 0,15

**correr risco e aguardar 28 dias, faz parte do proceso, ou seja,
trata-se de aprender a conviver com esse inconveniente**

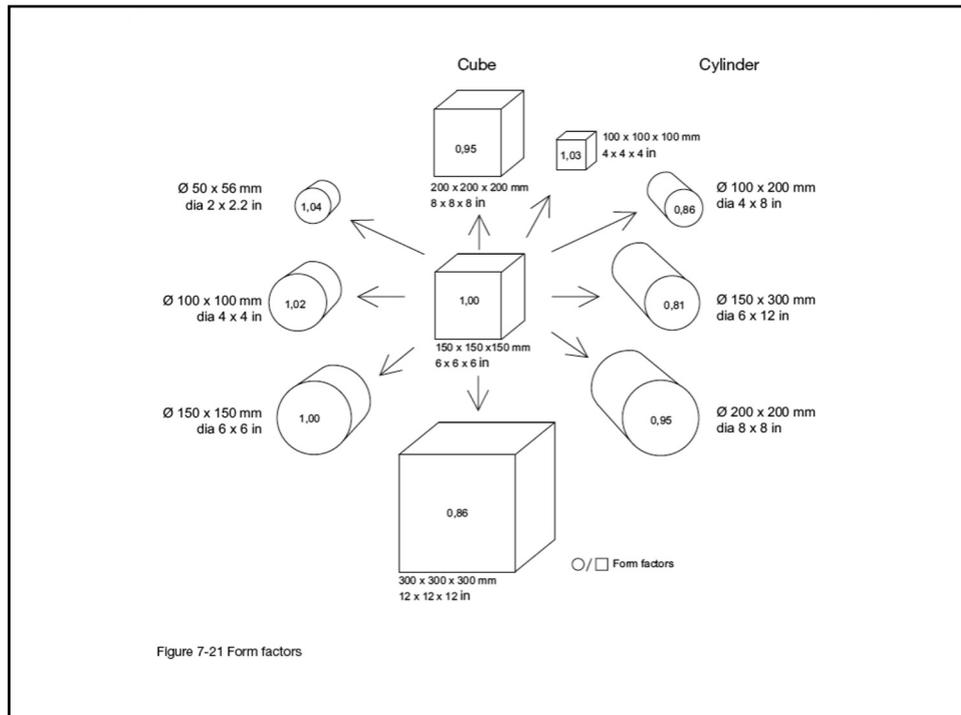
6

**qual é o referencial
de resistência à
compressão do
concreto, f_{ck}
no Brasil ?**

7



8



9

referencial BRASIL
de resistência à compressão do concreto, f_{ck}

- ✓ **o cilindro 15cm ϕ * 30cm**
- ✓ **o cilindro 10cm ϕ * 20cm**
- ✓ **planejado (lotes) de acordo com a ABNT NBR 12655**
- ✓ **amostrado de acordo com a ABNT NM 33**
- ✓ **moldado de acordo com a ABNT NBR 5738**
- ✓ **transportado de acordo com a ABNT NBR 5738**
- ✓ **curado de acordo com a ABNT NBR 5738**
- ✓ **capeado de acordo com a ABNT NBR 5738**
- ✓ **ensaiado de acordo com a ABNT NBR 5739**
- ✓ **resultado analisado de acordo com a ABNT NBR 12655**

em geral referido à idade de 28 dias de idade

10

f_{ck} é a resistência do concreto na estrutura?



**Não !
 f_{ck} é a resistência potencial do concreto na
boca da betoneira !**

11

**f_{ck}
é a
resistência
do
concreto
na
fundação,
pilares,
vigas e
lajes da
estrutura?**



**Não !
 f_{ck} é a
resistência
potencial do
concreto
daquela
amassada
medida em
corpos de
prova
moldados,
sazonados e
ensaiados em
condições
ideais !**

12

f_{ck}
é a resistência do concreto de partida que o projetista estrutural usa para verificar a segurança?



Sim !
 f_{ck} é a resistência característica do concreto à compressão utilizada como valor de entrada nos programas de verificação da segurança numa análise ou processo usual, padrão !

13

... e esse é o grande problema porque alguns engenheiros e projetistas consideram que f_{ck} é a resistência do concreto lá na estrutura !..

14

... então qual é a resistência à compressão do concreto lá na estrutura que um engenheiro civil pode considerar como disponível para fins de dimensionamento, com segurança?

15

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1,4}$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \cdot f_{cd}$$

$$\therefore \sigma_{cd} \cong 0,6 \cdot f_{ck}$$

16

Ações e Segurança

NBR 6118:2014

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad \gamma_c = 1,4$$

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

para $f_{ck} = 30$ MPa $\rightarrow f_{ck,ef}$ (estrutura) $\approx 18,2$ MPa

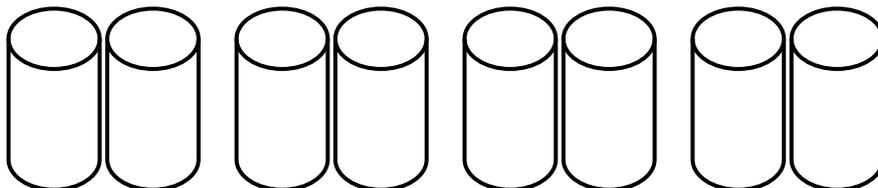
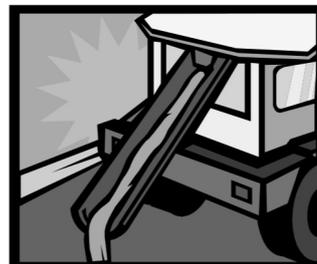
para $f_{ck} = 50$ MPa $\rightarrow f_{ck,ef}$ (estrutura) $\approx 30,3$ MPa

17

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



Grupo A

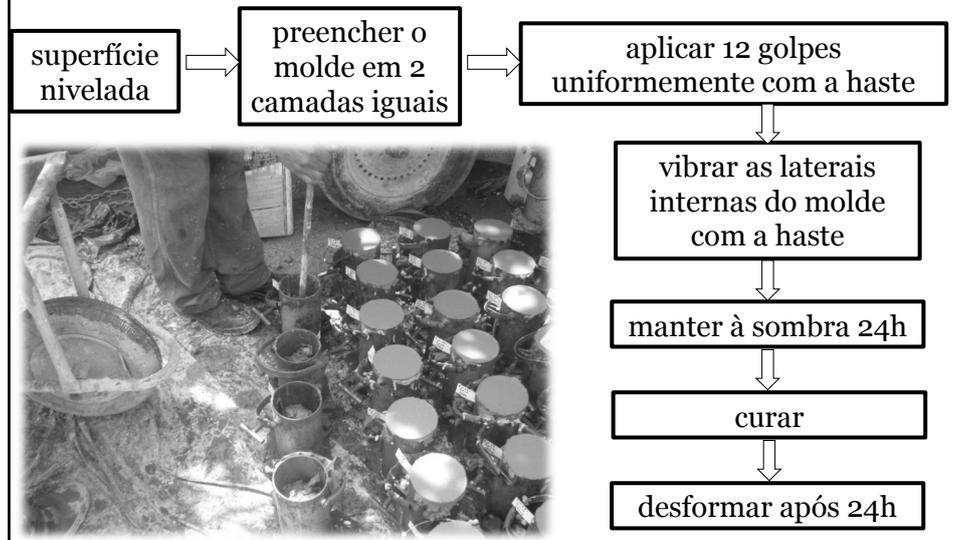
Grupo B

Grupo C

Grupo D

18

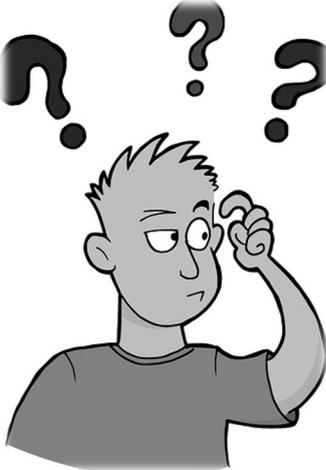
o concreto deve ser amostrado de acordo com a ABNT NM 33 e moldado de acordo com a ABNT NBR 5738:2015



19

Segundo a ABNT NBR 12.655 para representar cada betoneira (exemplar) devem ser moldados, no mínimo, 2 corpos de prova, mas podem ser 3, 4, 5, etc.

20



Então, qual é o resultado que devemos considerar: a média ou o maior?

21

Cálculo da variabilidade aparente dos resultados

$$v_c^2 = v_{c,prod}^2 + \frac{v_e^2}{p}$$

Onde:

v_c = coeficiente de variação ou variabilidade (aparente total) do processo de produção e ensaio avaliado a partir dos resultados de ensaio; (%)

$v_{c,prod}$ = coeficiente de variação ou variabilidade devida somente ao processo de produção do concreto; (%)

v_e = coeficiente de variação ou variabilidade das operações de ensaio e controle; (%)

p = número de corpos de prova de uma mesma amassada, correspondentes, portanto, a um exemplar.

22

Exemplo

$$v_c^2 = v_{c,prod}^2 + \frac{v_e^2}{p} \quad f_{ckj,est} = f_{cmj} * (1 - 1,65 * v_c)$$

Eficiência nas operações de controle: $v_e = 3\%$; $v_{c,prod} = 10\%$

Nº de exemplares (p)	v _c (%)	f _{ckj,est} [MPa]	
		p/ f _{cmj} = 26 MPa f _{ck} = 20 MPa	p/ f _{cmj} = 62 MPa f _{ck} = 50 MPa
1	10,44	21,5	51,3
2	10,22	21,6	51,5
5	10,09	21,7	51,7

23

- A diferença entre adotar como exemplar o valor mais alto ou a média, é sutil e tem a ver com a eterna dicotomia entre ciência aplicada (engenharia) e ciência básica (matemática);

24

- A Matemática explica e demonstra que a média é sempre mais precisa que um valor individual e que a média de 3, 4, 5... corpos de prova é, ainda, sempre mais precisa que a média de 2;

25

- A Engenharia observa que adotar apenas um resultado é desprezível do ponto de vista da precisão, e constata que os erros usuais de ensaio tendem a reduzir o valor, então: concluiu pragmaticamente que o valor mais alto é o mais adequado a ser adotado.

26

quantas resistências
tem o concreto de um
caminhão betoneira
de 8 m³ ?

27

...segundo as normas da ABNT, do ACI
(50 países) e da Europa (30 países)
cada amassada tem apenas UMA
resistência e é chamada de resistência
potencial do concreto na boca da
betoneira.

28

argumentos usuais em contra !

1. a resistência do concreto dentro do balão de uma betoneira, varia um pouco se comparar o começo, meio e fim;
2. se moldar corpos de prova de um concreto de uma amassada vai encontrar média, desvio padrão, variabilidade, ou seja, não é um único valor !

29

**quantas resistências
tem o concreto de um
caminhão betoneira
de 8 m³ ?**

**→ 1.300 cps “15x30”
→ 5.000 cps “10x20”**

30

variabilidade do material

versus

variabilidade do ensaio

31

Moldagem de corpos de prova para programa interlaboratorial do INMETRO / FURNAS



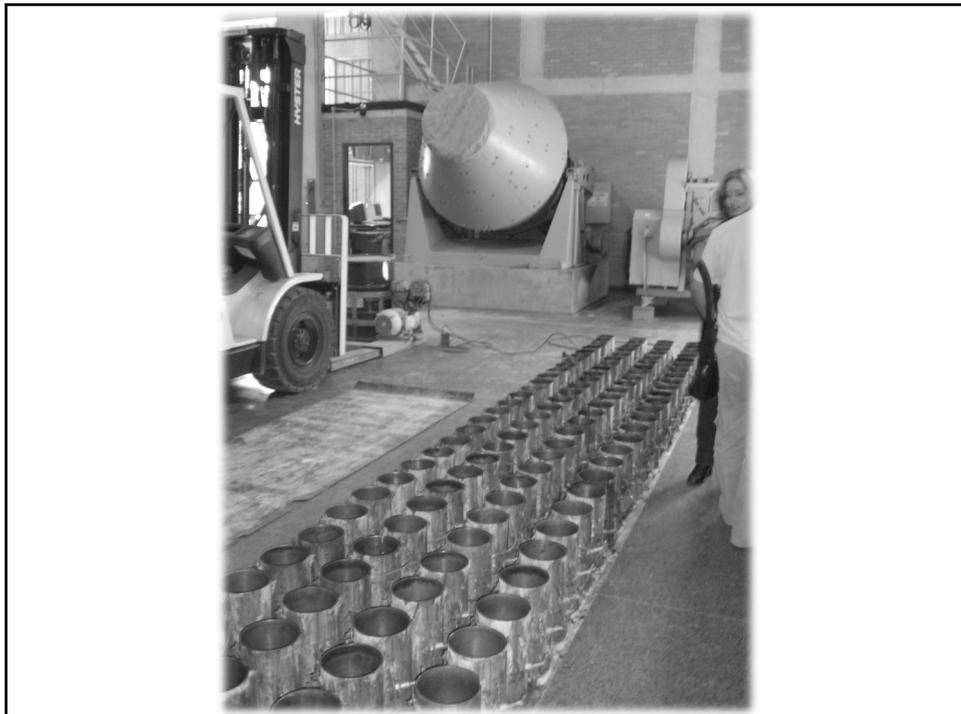
32

betoneira estacionária com volume
útil total de 1 m³

→ 163 cps “15x30”

→ 625 cps “10x20”

33



34



35

**é possível obter
resultados
perfeitamente iguais??**



36

Exemplo: ensaio de resistência à compressão do cimento

ABNT NBR 7215

"Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão"

DEZ 1996 | NBR 7215

Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas
 Sede:
 Rio de Janeiro
 Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar
 CEP 20033-900 - Caixa Postal 1650
 Rio de Janeiro - RJ
 Tel. (51) 251-9700
 Fax: (21) 251-5108/5121/43
 Internet: www.abnt.org.br
 NORMATECNICA

Origem: Projeto NBR 7215-1995
 CB-18 - Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados
 CE-18-104.03 - Comissão de Estudo de Métodos de Ensaio de Cimento Portland
 NBR 7215 - Portland cement - Determination of compressive strength
 Descriptor: Portland cement
 Esta Norma substitui a ABNT NBR 7215
 Válida a partir de 31.01.1997
 Incorpora a Errata nº 1 de AGO 1997

Palavras-chave: Cimento Portland 8 páginas

Sumário

Prefácio

1 Objetivo

2 Referências normativas

3 Método de ensaio

ANEXOS

A Figuras e tabelas

B Determinação do índice de consistência normal

Prefácio

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos CB e ONS, circulam para votação Nacional entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta Norma inclui o anexo A, de caráter normativo, e o anexo B, de caráter informativo.

1 Objetivo

Esta Norma especifica o método de determinação da resistência à compressão de cimento Portland.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

NBR 6156:1983 - Máquina de ensaio de tração e compressão - Verificação - Método de ensaio

NBR 7214:1962 - Anvia normal para ensaio de cimento - Especificação

NBR 6479:1994 - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto - Especificação

3 Método de ensaio

3.1 Princípio

O método compreende a determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura.

Os corpos-de-prova são elaborados com argamassa composta de uma parte de cimento, três de areia normalizada, em massa, e com relação água/cimento de 0,48.

37

- Moldagem feita em bancada de laboratório, com temperatura e umidade padronizadas;
- Argamassa padrão, de traço em massa fixo 1:3, volume de cerca de **1,1 L**;
- Relação a/c fixa de 0,4;
- Misturado numa misturadora pequena de eixo vertical, sistema forçado, com controle de tempo de mistura com cronômetro;
- Operador treinado;



38

- Agregados IPT tratados, lavados, peneirados em granulometrias determinadas, pesados em balança de precisão;
- Ruptura com hora marcada em ambiente climatizado
- Operador treinado;



39

- Operador treinado;
- Moldagem de 4 cp's cilíndricos 5cm x 10cm, que são curados por 28 dias na câmara úmida;
- Ensaio em prensa pequena apropriada e calibrada.



40

No item 3.6 desse método encontra-se:

calcular o desvio relativo máximo da série de quatro resultados, dividindo o valor absoluto da diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afaste desta média, para mais ou para menos, pela resistência média e multiplicando este quociente por 100. A porcentagem obtida deve ser arredondada ao décimo mais próximo

Quando o desvio relativo máximo for superior a 6%, calcular uma nova média, desconsiderando o valor discrepante. Persistindo o fato com os 3 restantes, o ensaio deve ser totalmente refeito.

41

ensaiando um CPM 40

46 53 49 52

média $f_{cm} = \mu = 50 \text{ MPa}$

(6% → 3MPa) → descarta 46

nova média **51,3 MPa**

42

como um matemático singelo ou um leigo interpretaria esses resultados ?

...impressionante como as argamassas de cimento Portland apresentam grande variabilidade na resistência à compressão...

*...mesmo dentro de um volume pequeno de **1,1 L**, aparentemente homogêneo, as resistências variam muito !..*

43

como um engenheiro de concreto interpretaria esses resultados ?

...vai indo bem mas, assim que der um tempinho teremos de renovar o treinamento desse laboratorista...

44

quem já conseguiu em laboratório num estudo de dosagem ou num experimento de pesquisa encontrar todos os resultados iguais dentro de uma mesma betoneira?

**como
fazer
o
estudo?**



45

**adota um
valor único e
vai em frente**



46

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”

47

...considerando que se
trata de uma estrutura
com $f_{ck} = 45\text{ MPa}$,
pergunta-se se está OK, ou
seja, se esse caminhão tem
um concreto conforme?

48

quantas resistências tem o concreto
de um caminhão betoneira?

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

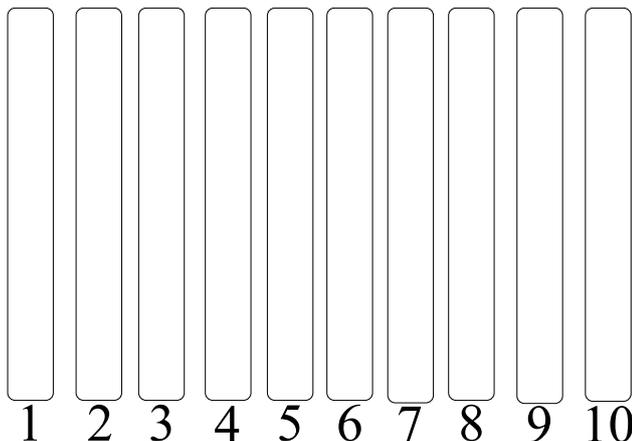
exemplar = mais alto ($f_{ck,est}$)

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

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

49

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



f_{ck}
45MPa

50

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

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

51



52

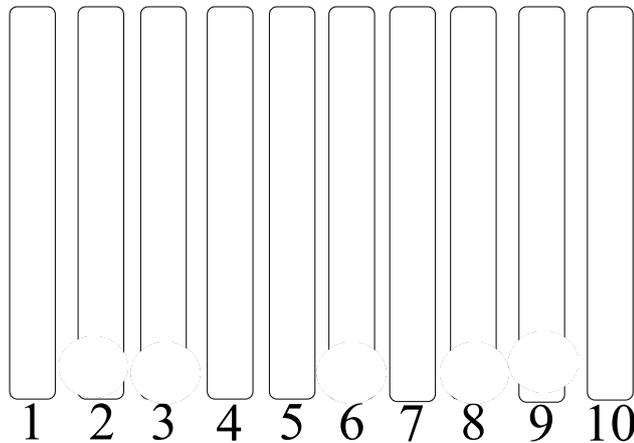


53



54

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

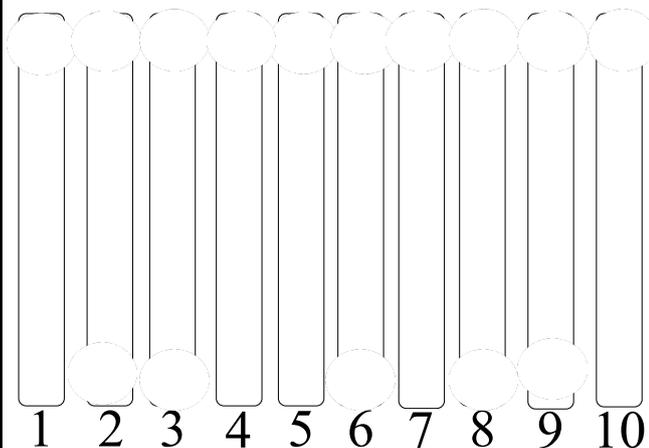


f_{ck}
45MPa

55

qual a resistência do concreto nos pilares que
estão mais próximas da resistência característica
do concreto à compressão (controle, moldado)

$f_{ck,est}$?

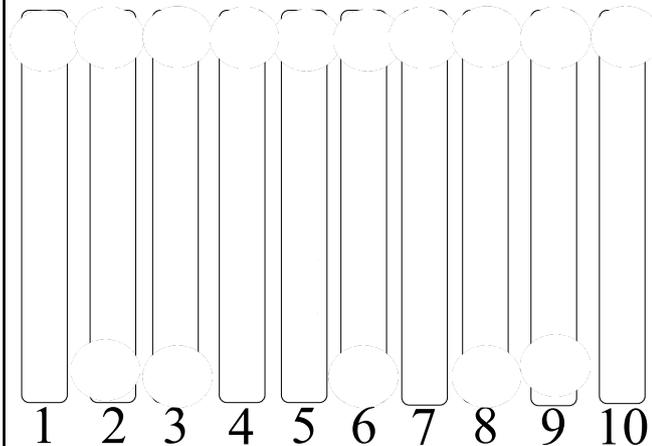


f_{ck}
45MPa

56

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

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

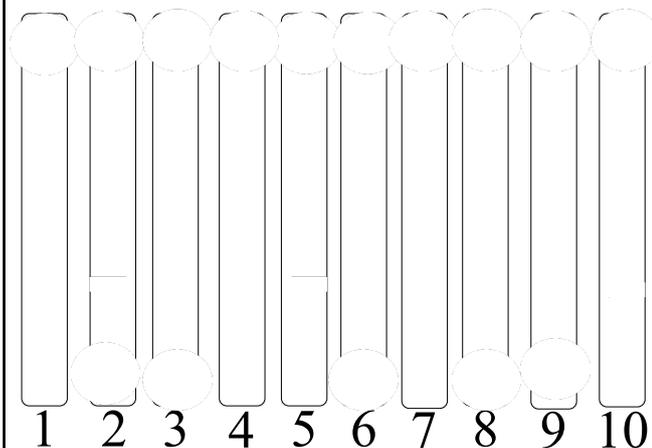


terço inferior

57

qual a resistência obtida de um pilar?

$f_{ck,ext}$?



terço inferior

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

58

NÃO CONFORMIDADES

ABNT NBR 7680:2015

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

59

ABNT NBR 7680:2015 $f_{ck,ext,j}$

ABNT NBR 6118:2014 f_{ck}

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

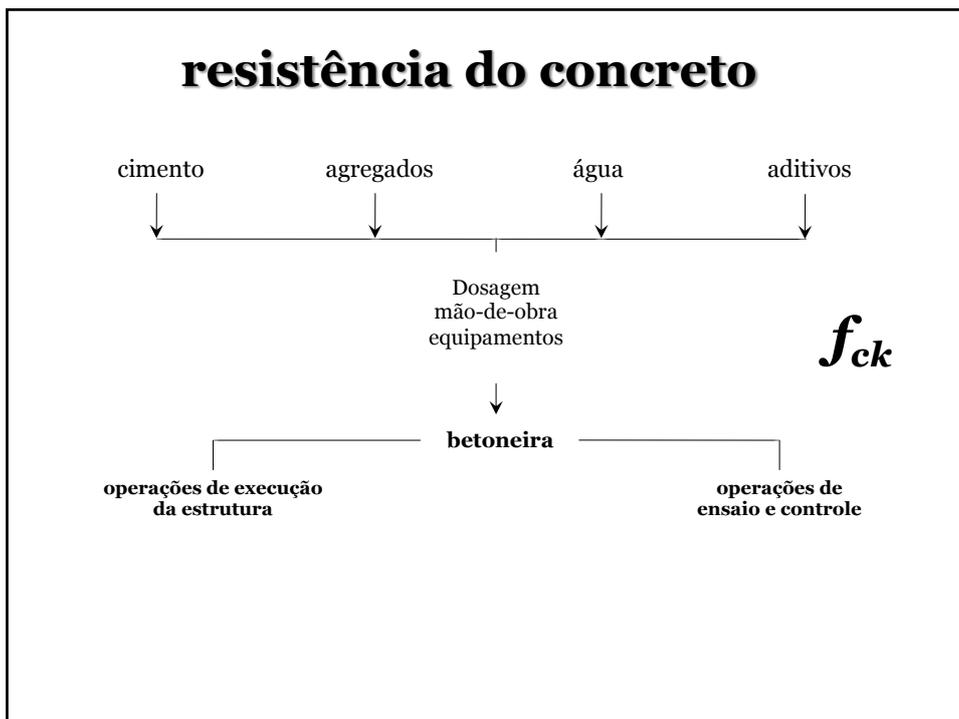
referencial de segurança

f_{ck}

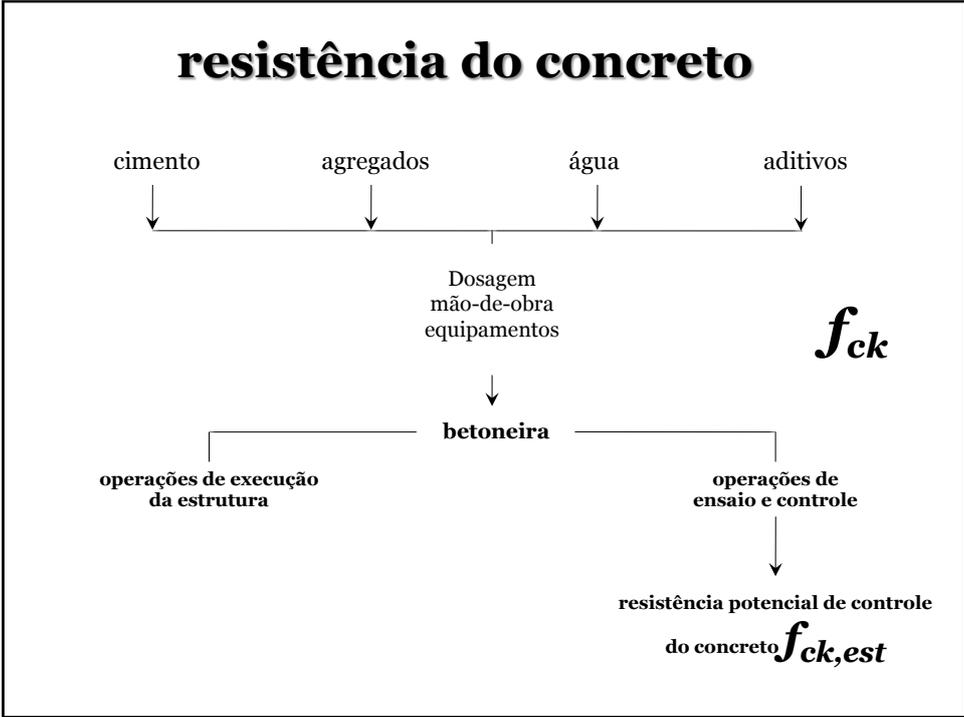
60



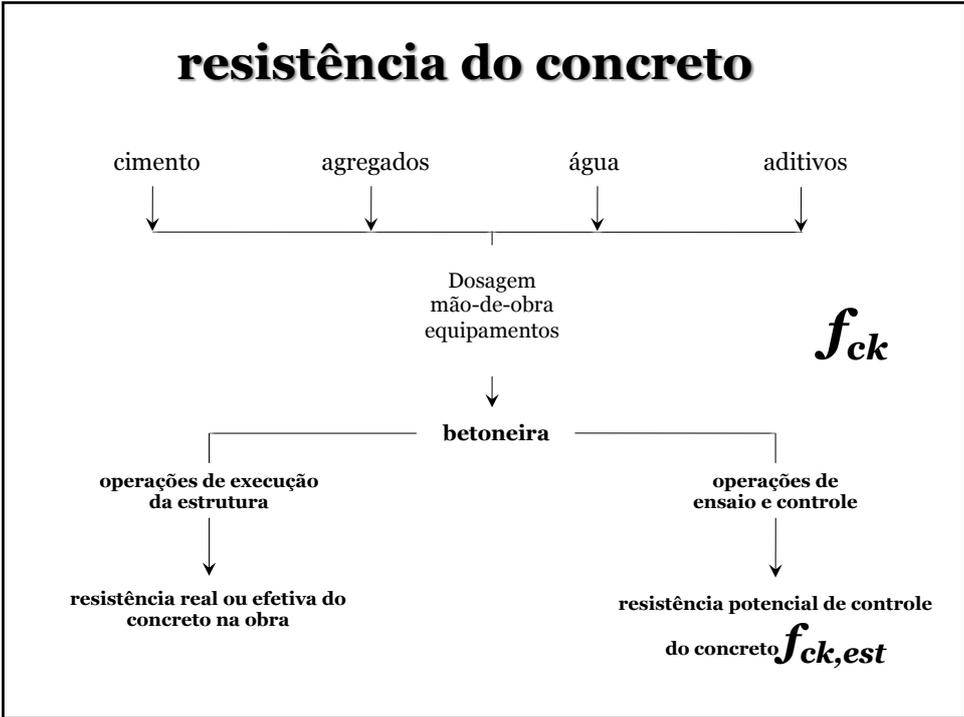
61



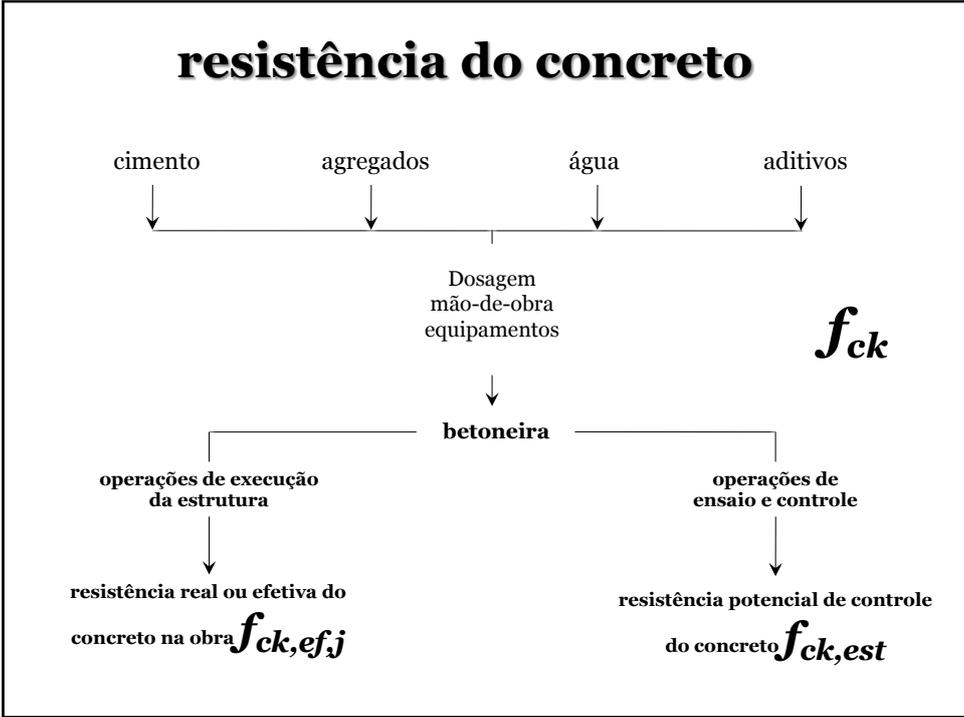
62



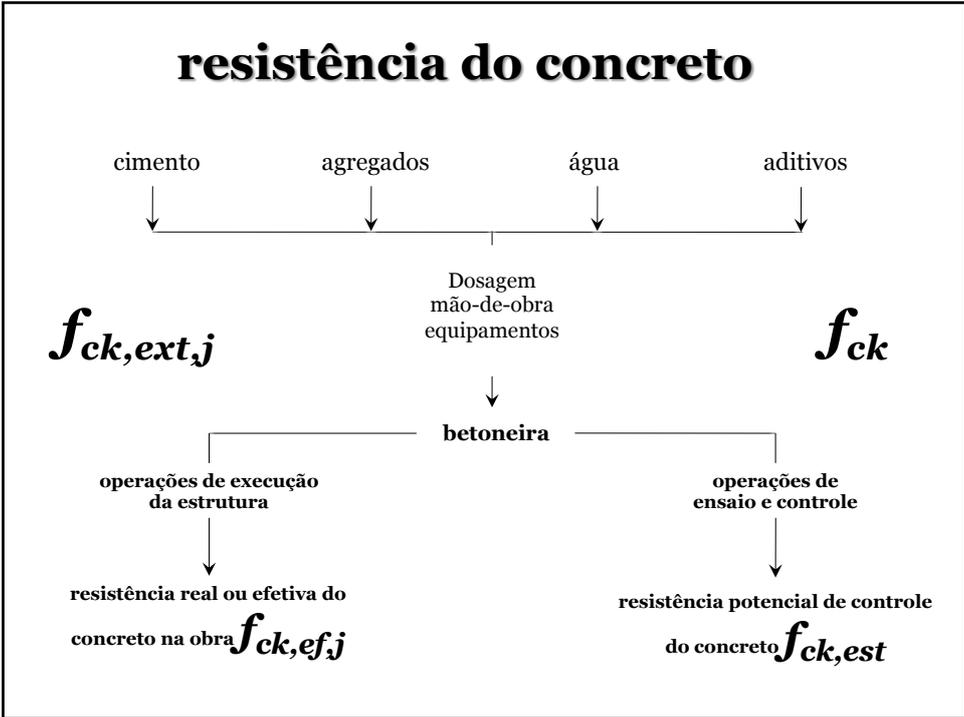
63



64



65



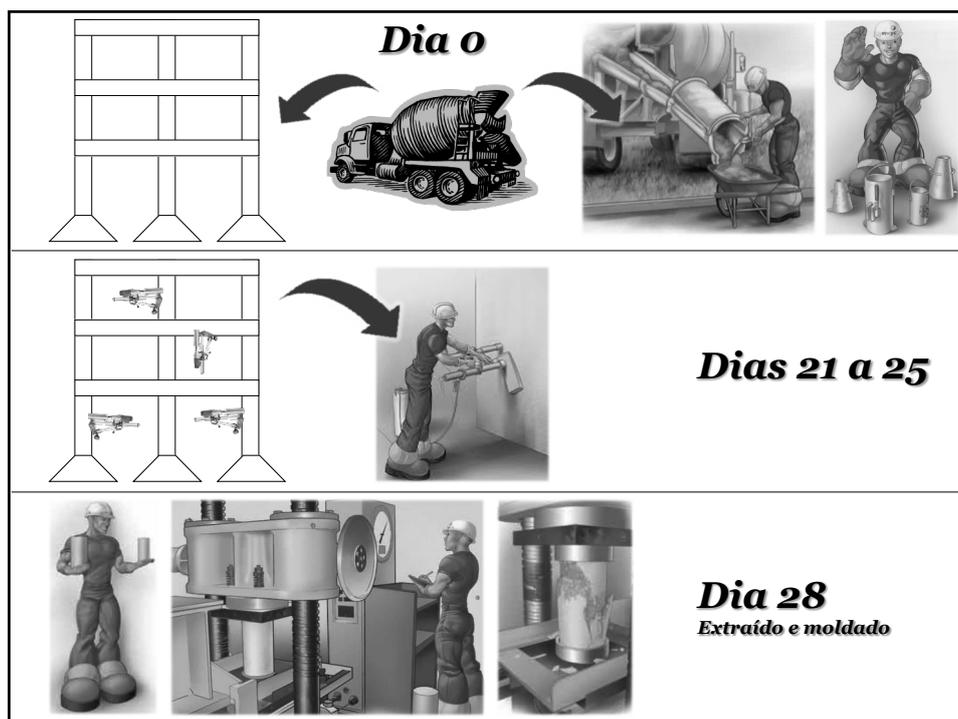
66

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

67



68

Conclusões

pilares:

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

lajes & (vigas)

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

69

**... mas e só o efeito
deletério do
broqueamento,
quanto é ?**

70

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

71



72



75

Conclusão

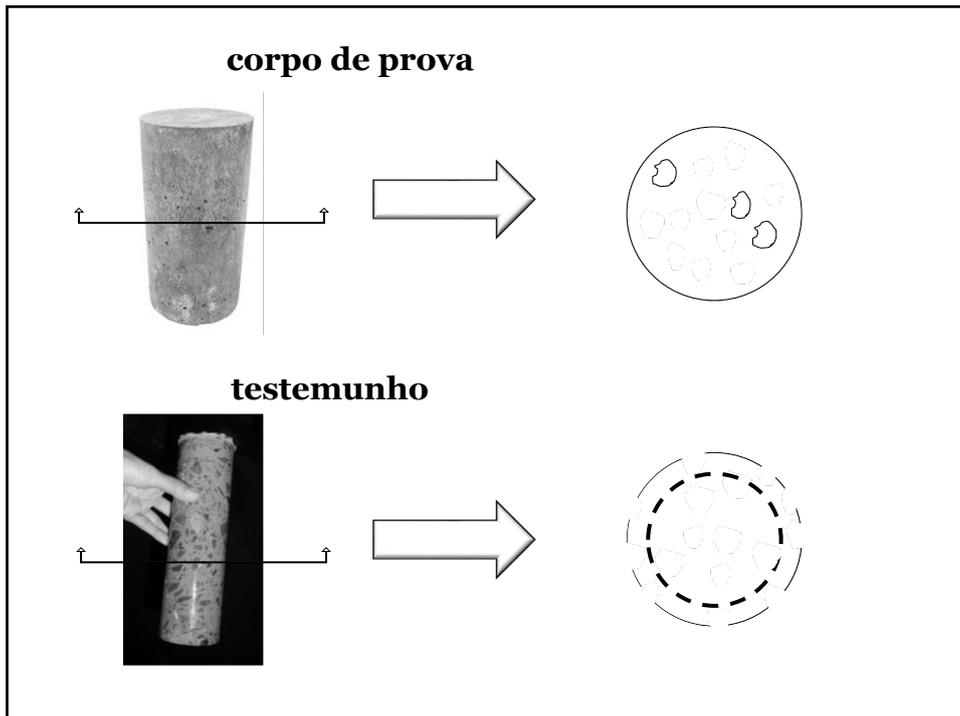
Média geral:

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

76



77



78

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;

79

como aceitar o concreto ?



80

CONTROLE DE ACEITAÇÃO

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

81

**Universo
População
Lote**

amostra

**unidade de produto
unidade de controle**

exemplares

corpo de prova

82

Unidade de Produto
Unidade de Controle

Pneu



- **massa de cada pneu**
- **pressão de cada pneu**

83

Unidade de Produto
Unidade de Controle

Bolinha de gude



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

84

Unidade de Produto
Unidade de Controle
Concreto



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

85

CONCRETO
Unidade de Produto

betonada
amassada
mistura-traço

CONCRETO
Unidade de Controle

resistência à compressão do cp
MPa, kgf/cm², psi
exemplar

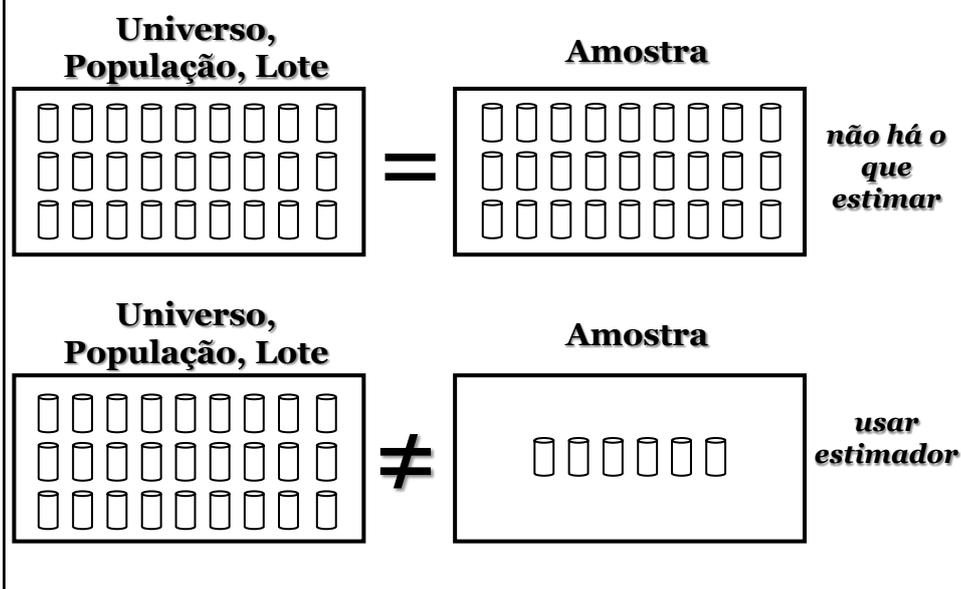
86

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.

87

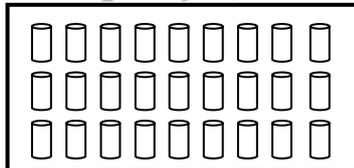
Amostragem ABNT NBR 12655



88

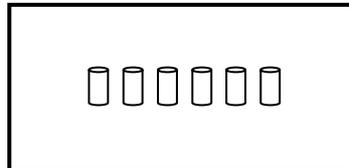
Amostragem ABNT NBR 12655

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.

89

Conformidade dos lotes

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

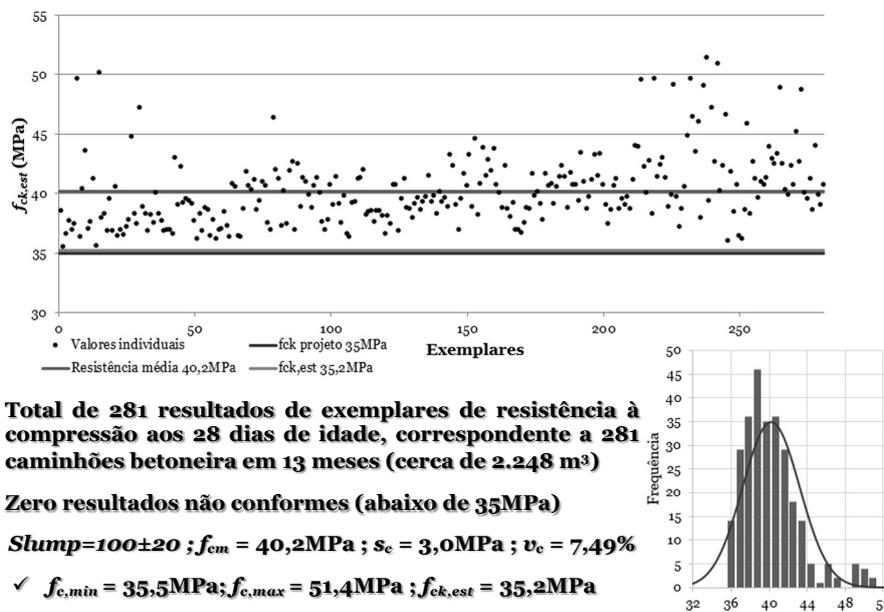
$$f_{ck,est} \geq f_{ck}$$

90

variabilidade da resistência à compressão do concreto num processo “industrial” de produção em centrais dosadoras (“concreteiras”) *aceitação é por lotes*

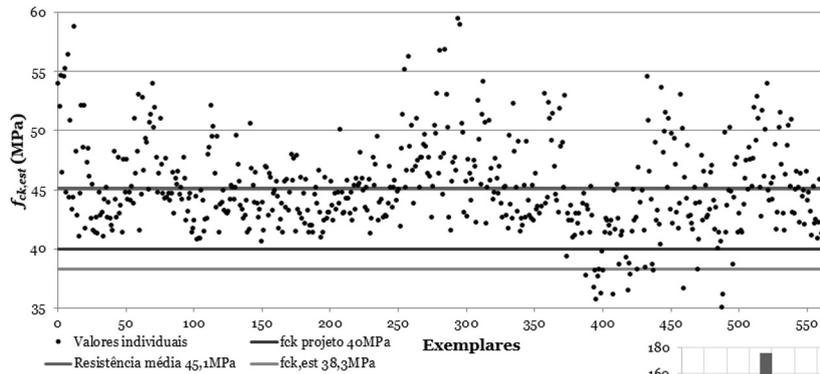
91

Controle Tecnológico do Concreto $f_{ck}=35$ MPa Obra A

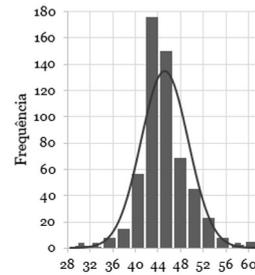


92

Controle Tecnológico do Concreto $f_{ck}=40$ MPa Obra B

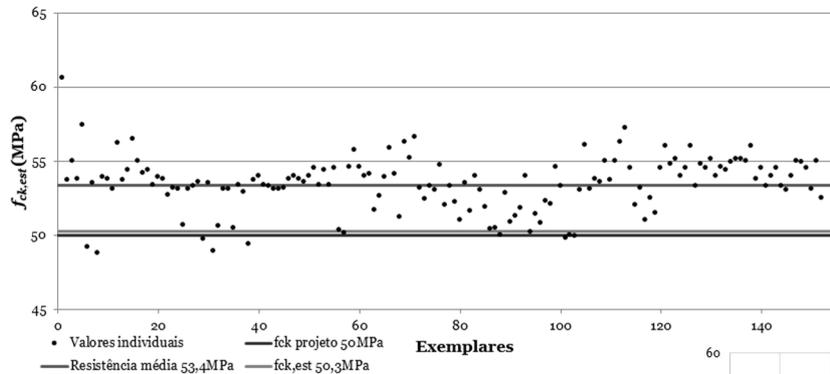


- ✓ Total de 562 resultados de exemplares de resistência à compressão aos 28 dias de idade, correspondente a 562 caminhões betoneira em 19 meses (cerca de 4.496 m³)
- ✓ 29 resultados não conformes (abaixo de 40MPa), ou seja 5,16%
- ✓ Autoadensavel ; $f_{cm} = 45,1$ MPa ; $s_e = 4,2$ MPa ; $v_e = 9,24$ %
- ✓ $f_{c,min} = 29,1$ MPa ; $f_{c,max} = 61,8$ MPa ; $f_{ck,est} = 38,3$ MPa

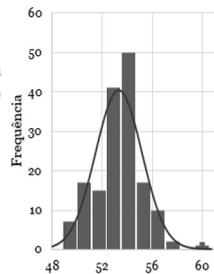


93

Controle Tecnológico do Concreto $f_{ck}=50$ MPa Obra D

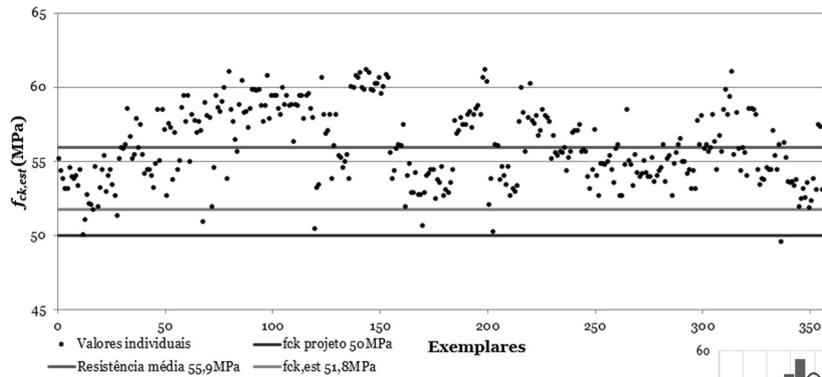


- ✓ Total de 160 resultados de exemplares de resistência à compressão aos 28 dias de idade, correspondente a 160 caminhões betoneira em 3 meses (cerca de 1.280 m³)
- ✓ 7 resultados não conformes (abaixo de 50MPa), ou seja 4,97%
- ✓ $Slump=110\pm 10$; $f_{cm} = 53,4$ MPa ; $s_e = 1,9$ MPa ; $v_e = 3,48$ %
- ✓ $f_{c,min} = 48,8$ MPa ; $f_{c,max} = 60,6$ MPa ; $f_{ck,est} = 50,3$ MPa

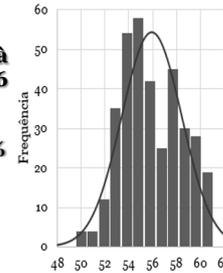


94

Controle Tecnológico do Concreto $f_{ck}=50$ MPa Obra E



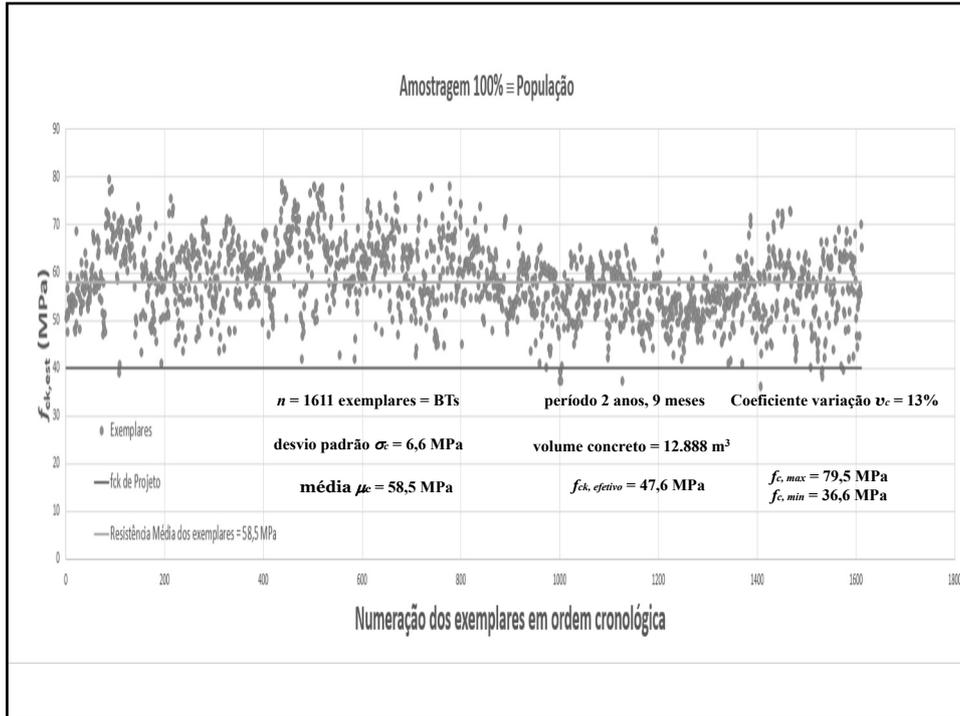
- ✓ Total de 356 resultados de exemplares de resistência à compressão aos 28 dias de idade, correspondente a 356 caminhões betoneira em 5 meses (cerca de 2.848 m³)
- ✓ 1 resultados não conformes (abaixo de 50MPa), ou seja 0,28%
- ✓ $Slump=150\pm 20$; $f_{cm} = 55,9\text{MPa}$; $s_c = 2,5\text{MPa}$; $v_c = 4,52\%$
- ✓ $f_{c,min} = 49,5\text{MPa}$; $f_{c,max} = 61,1\text{MPa}$; $f_{ck,est} = 51,8\text{MPa}$



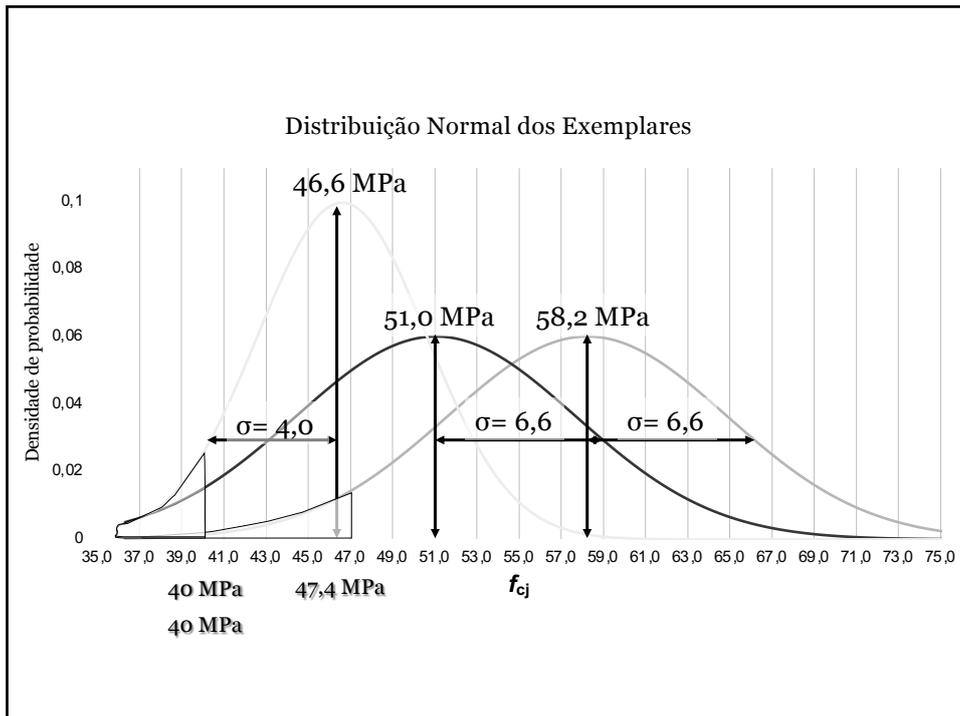
95



96



97



98

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

99

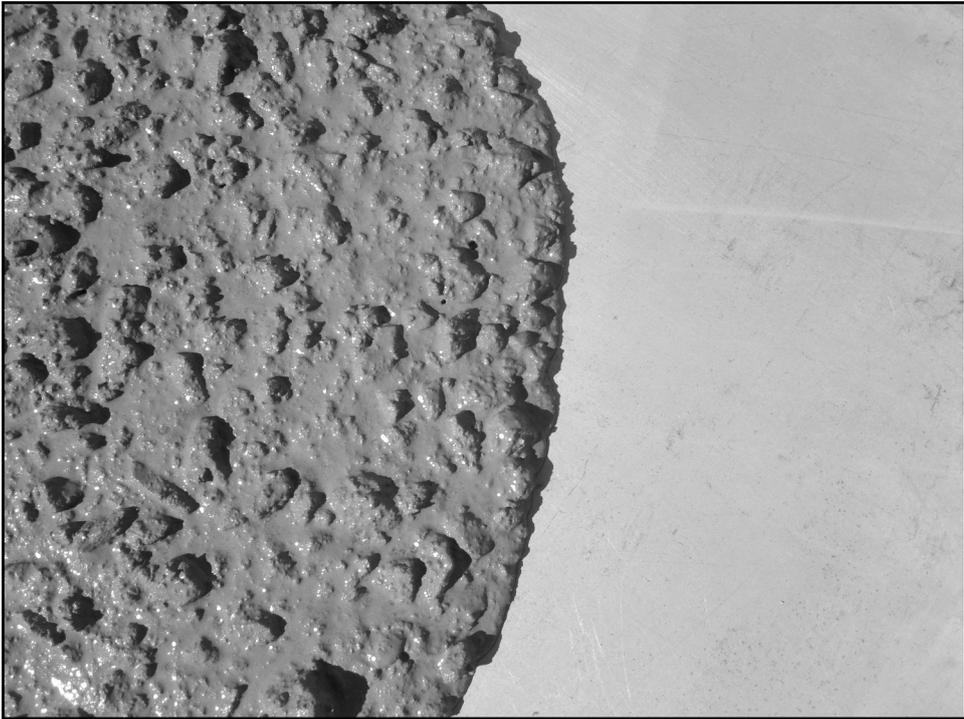


Central dosadora de concreto

100



101



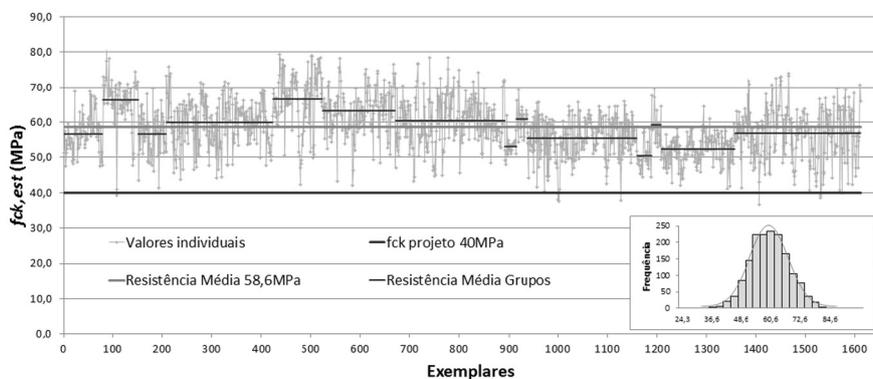
102

Plano de Controle Tecnológico

- ✓ Controle de resistência à compressão aos 28 dias de idade por amostragem total de acordo com a norma ABNT NBR 12655:2015 “*Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento*”;
- ✓ Realizado durante 2 anos e 9 meses por laboratório acreditado pelo INMETRO pertencente à rede Brasileira de laboratório de Ensaio (RBLE);
- ✓ Laboraristas qualificados e certificados pelo IBRACON através do Núcleo de Qualificação e Certificação de Pessoal.

103

Controle da resistência do concreto obra à luz da ABNT 12.655



- ✓ Total de 1.611 resultados de resistência à compressão aos 28 dias de idade;
 - ✓ 11 resultados não conformes (abaixo de 40MPa), ou seja, 0,7%;
 - ✓ Média = 58,6MPa; Desvio Padrão = 6,6MPa, Coef. de variação = 11,2%;

104

ACI 318-14 “*Building Code Requirements for Structural Concrete*”

Quanto à amostragem, o ACI 318 no item 26.12 “*Concrete evaluation and acceptance*” recomenda como critérios mínimos:

- ✓ um exemplar por dia de concretagem;
- ✓ um exemplar para cada 115m³ de concreto produzido;
- ✓ um exemplar para cada 465m² de área superficial para lajes ou paredes;
- ✓ o controle para volumes inferiores a 38m³ é dispensado, desde que exista carta de traço aprovada.

105

ACI 318

O valor da resistência à compressão de cada um dos exemplares é determinado pela média aritmética simples dos resultados obtidos

Caso os valores individuais dos corpos de prova irmãos difiram de mais de 8%, os resultados são considerados inadequados e devem ser desconsiderados (ASTM C39-16b “*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*”)

O ACI 318, assim como a ABNT NBR 12655 e a norma europeia EN-206:2013 consideram que de cada betonada moldada é obtido apenas 1(um) valor de resistência à compressão.

106

ACI 318

O ACI 318 prescreve os seguintes critérios de aceitação e conformidade:

- ✓ para $f_{ck} \leq 35\text{MPa}$, nenhum resultado individual deve ser inferior a $f_{ck} - 3,5\text{MPa}$;
- ✓ para $f_{ck} > 35\text{MPa}$ (caso em questão), nenhum resultado individual pode ser inferior a $0,9 \cdot f_{ck}$;
- ✓ a média móvel de quaisquer 3(três) resultados consecutivos deve ser igual ou superior a resistência característica definida em projeto (f_{ck}).

107

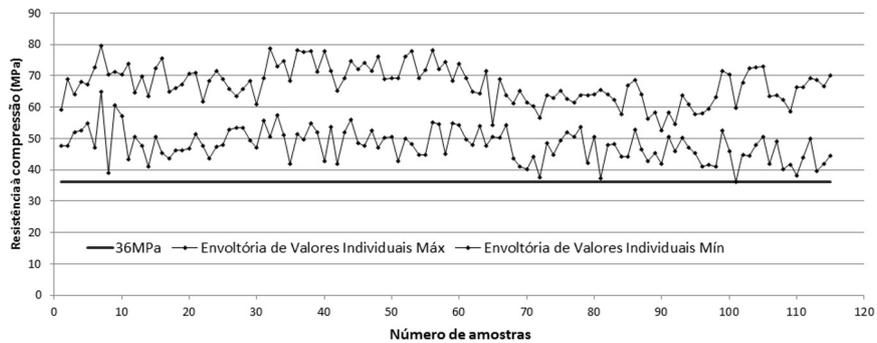
Análise comparativa entre os métodos de controle propostos pela ABNT e ACI

Considerando o critério mínimo de amostragem proposto pelo ACI de um exemplar a cada 115m^3 de concreto (ou seja, uma moldagem de corpos de prova a cada 14 caminhões betoneira de 8m^3) foram determinadas as envoltórias dos valores individuais e da média móvel de 3(três) resultados consecutivos.

108

Análise comparativa entre os métodos de controle propostos pela ABNT e ACI

Envoltória dos Valores Individuais de Resistência à Compressão

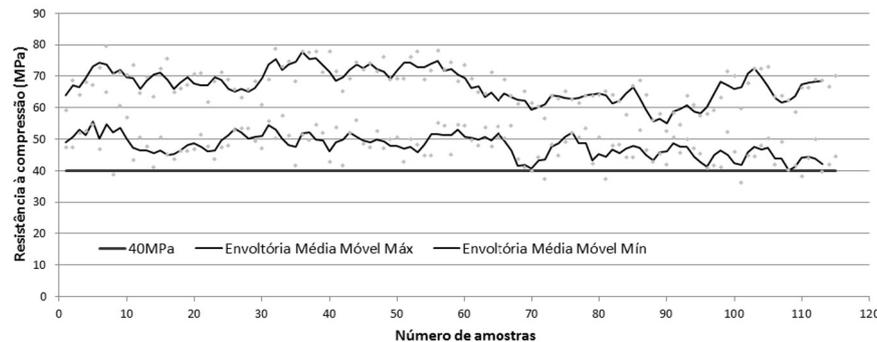


Critério de aceitação: $\geq 0,9 \cdot f_{ck} = 36\text{MPa}$

109

Análise comparativa entre os métodos de controle propostos pela ABNT e ACI

Envoltória da média móvel de 3 resultados consecutivos



Critério de aceitação: $\geq f_{ck} = 40\text{MPa}$

110



111

Resumo - frequência dos ensaios

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

112

Resumo – critérios de aceitação

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

113

Conclusão

- ✓ 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 50m³ e de 100m³ para os quais são exigidos 6 exemplares, o que dá uma média de moldar um exemplar a cada 8m³ ou a cada 16m³ 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}

114

$$f_{ck,est} > 0,9 * f_{ck}$$

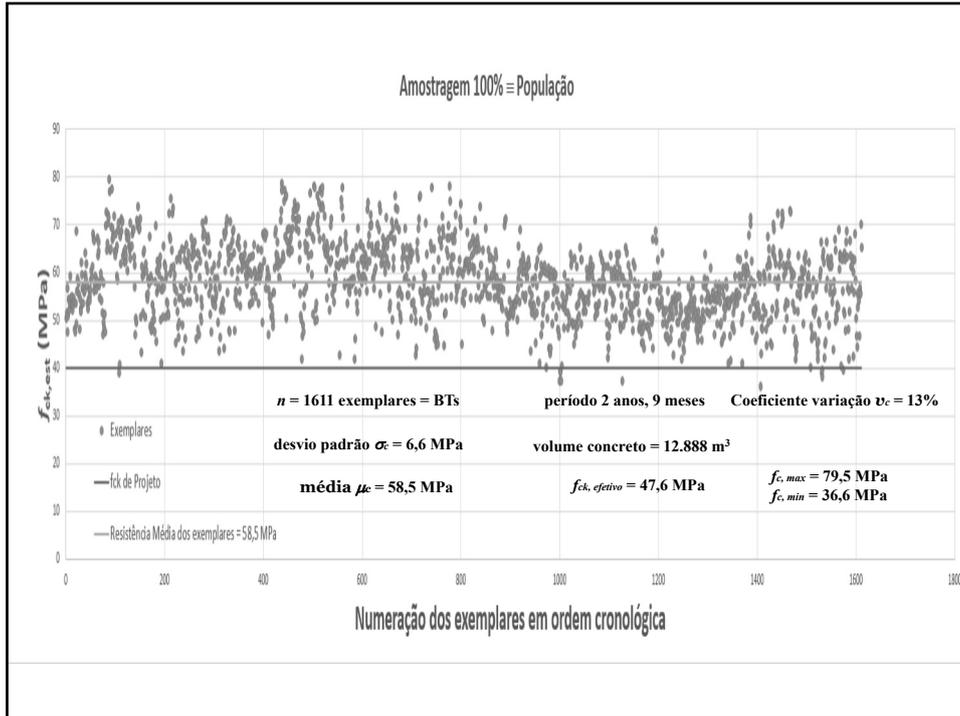
justificativa para poder aceitar um valor individual esporádico de $f_{ck,est}$ (um caminhão betoneira) abaixo de f_{ck}

$$f_{ck,est} \text{ até } 0,9 * f_{ck}$$

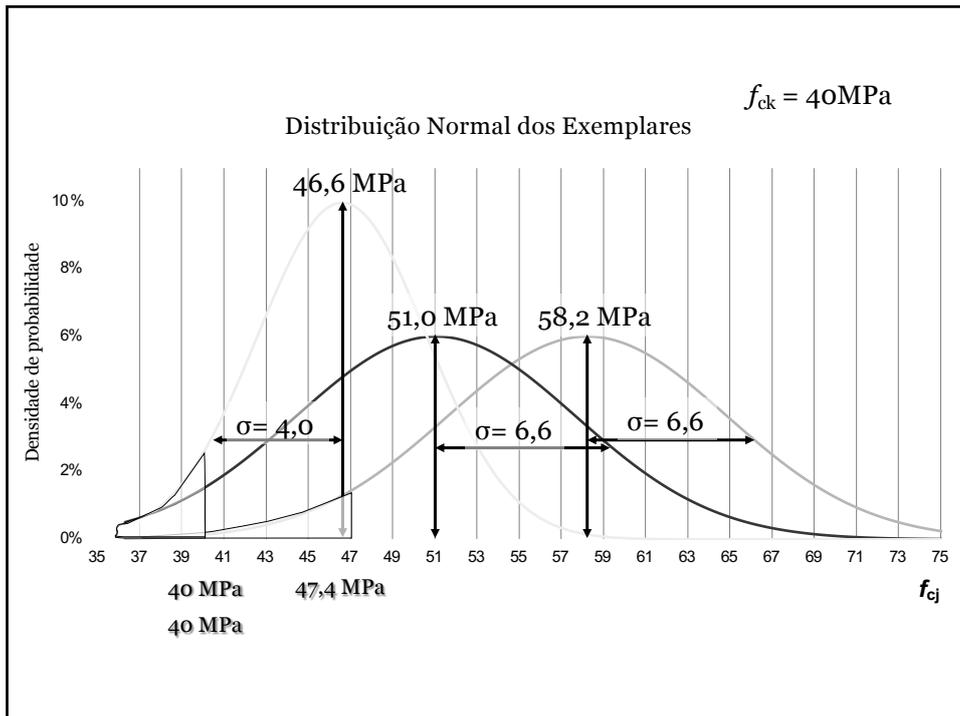
115



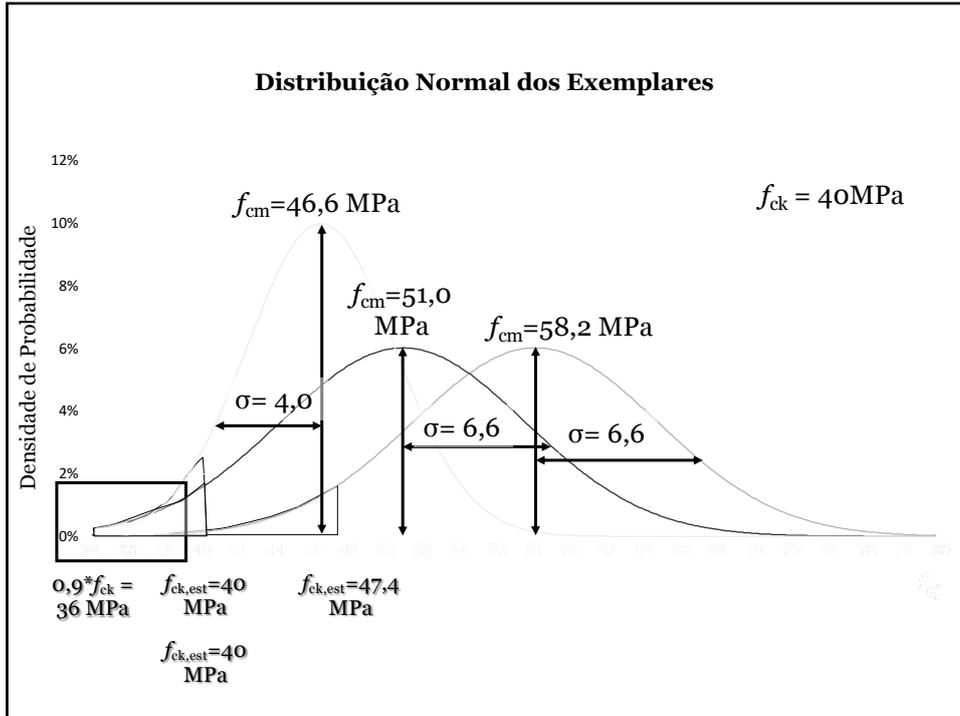
116



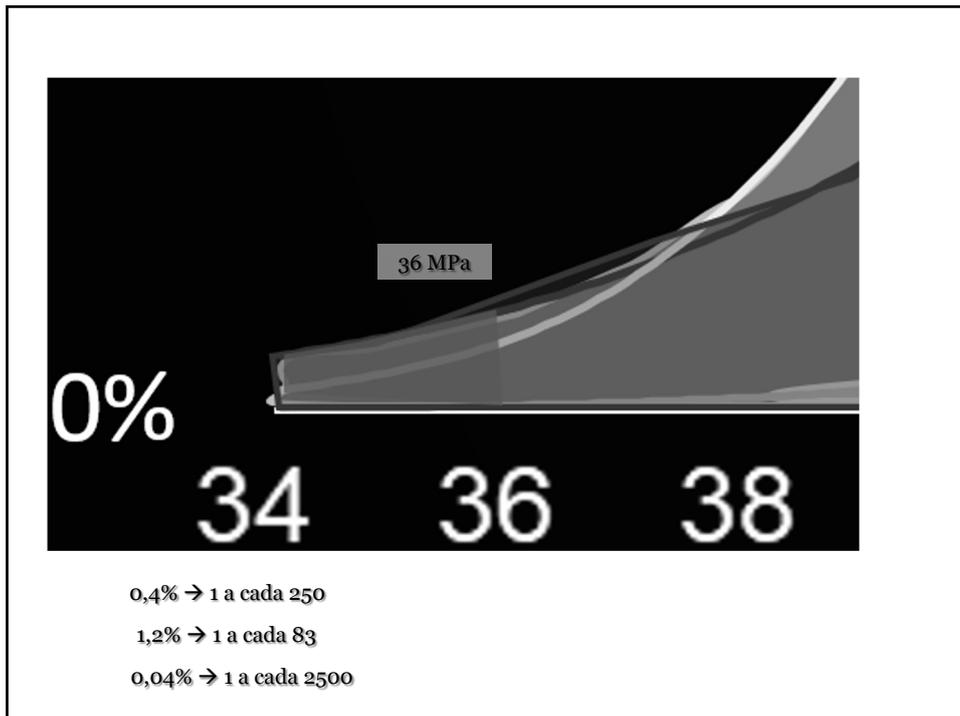
117



118



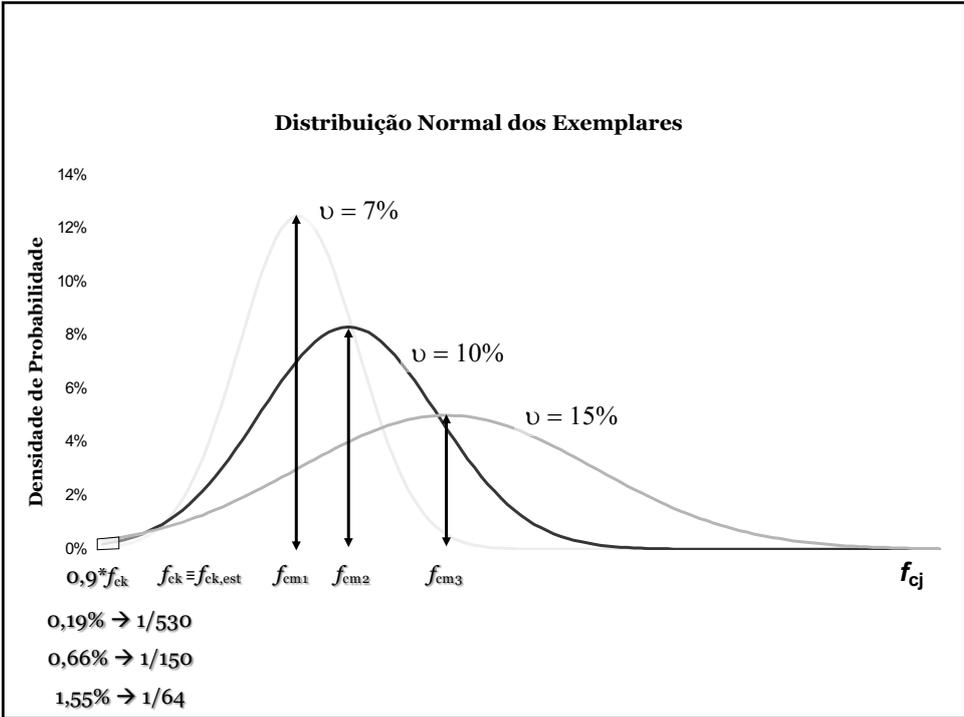
119



120

f_{ck}	média	σ_c	$0,9*f_{ck}$	Quantil	1 a cada	v_c
40	46,6	4	36	0,4%	250	8,6%
40	51	6,6	36	1,2%	83	12,9%
47,8	58,2	6,6	36	0,04%	2500	11,3%
20	26,6	3,99	18	1,56%	64	15,0%
30	39,9	5,98	27	1,55%	64	15,0%
40	47,9	4,8	36	0,66%	150	10,0%
112	126,6	8,9	100,8	0,19%	530	7,0%

121



122

